

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DESARROLLO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA LINEAL EN BANDEJAS
DE GERMINACIÓN PARA LA FUNDACIÓN CAMBUGÁN

AUTORES:
GUALICHICO CONCHAMBAY MIGUEL ALEJANDRO
RODRÍGUEZ LUCERO WASHINGTON DAVID

TUTOR:
PÉREZ CHECA ANÍBAL ROBERTO

Quito, febrero 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Miguel Alejandro Guallichico Conchambay con documento de identificación N° 172643517-3 y Washington David Rodríguez Lucero con documento de identificación N° 040139112-3, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA LINEAL EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN PARA LA FUNDACIÓN CAMBUGÁN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, febrero 2019.

Guallichico Conchambay Miguel Alejandro
C.I: 172643517-3

Rodríguez Lucero Washington David
C.I: 040139112-3

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DESARROLLO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA LINEAL EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN PARA LA FUNDACIÓN CAMBUGÁN” realizado por Miguel Alejandro Guallichico Conchambay y Washington David Rodríguez Lucero, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019.



Aníbal Roberto Pérez Checa

C.I: 1711423440

DEDICATORIAS

Este trabajo se lo quiero dedicar especialmente a Miguel y Magdalena a quienes tengo el orgullo de llamarlos mis padres, por todo el esfuerzo, cariño y apoyo incondicional ya que con su ejemplo de trabajo y dedicación me han enseñado a siempre confiar en Dios y a nunca darme por vencido ante las adversidades. A Darwin y Guillermo que más que ser mis hermanos son como mis padres, siempre velando por mi bienestar desde que di mis primeros pasos hasta hoy en día. Este logro también es de ustedes. A mi novia Wendy por su apoyo incondicional paciencia y cariño que fue mi refugio en mis momentos de debilidad.

"Jehová es bueno, fortaleza en el día de la angustia; y conoce a los que en él confían"
Nahum 1:7 RVA

Miguel Guallichico

En primer lugar, a Dios por darme la vida y permitirme culminar esta etapa de mi vida en la cual se cumplen muchos sueños y se plantean nuevas metas. A mis padres por la paciencia, apoyo y el ejemplo que me han dado en el transcurso de la vida, pero sobre todo por la enseñanza de que las cosas no son fáciles, pero con convicción, esfuerzo y disciplina se las puede lograr. A mi hermana por sus oraciones, preocupación y su incondicional amor.

Washington Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer, primeramente, a Dios, que ha estado presente a lo largo de nuestras vidas siempre mostrándonos el camino correcto para cumplir nuestros objetivos. A nuestros padres quienes con su esfuerzo diario nos dan la oportunidad de formarnos como profesionales en la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador. A todas las personas que de una u otra manera intervinieron a lo largo de todo el proyecto para que este se lo realice, les quedaremos eternamente agradecidos por su labor, especialmente a nuestro amigo el Ingeniero Christian Maigua ya que gracias a sus consejos, conocimientos y habilidades pudimos desarrollar este trabajo de titulación.

Finalmente, al Ingeniero Roberto Pérez por su tiempo y paciencia al acompañarnos en esta etapa de nuestra formación académica demostrado sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este proyecto.

A todas las personas que de una u otra manera intervinieron a lo largo de todo el proyecto para que este se lo realice, les quedaremos eternamente agradecidos por su labor y dedicación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Beneficiarios.....	2
CAPÍTULO 2.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 Cultivo en bandejas de germinación	3
2.2 Elementos básicos para sembrar en bandejas de germinación	3
2.2.1 Sustrato.....	3
2.2.2 Bandejas de germinación o Almacigos	4
2.2.3 Semilla de tomate Cherry	5
2.3 Proceso de siembra en bandejas	6
2.4 Técnica de punzado	6
2.5 Métodos de siembra en semilleros	7
2.5.1 Sembrado Manual	7
2.5.2 Sembrado mediante mecanismos	8
2.5.3 Siembra automatizada	8
2.6 Análisis de máquinas sembradoras existentes en el mercado	9

CAPÍTULO 3.....	10
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	10
3.1 Parámetros técnicos del diseño.....	10
3.1.1 Análisis de requerimientos del sistema	10
3.1.2 Dimensiones del Semillero	10
3.1.3 Parámetros de siembra de la semilla	11
3.2 Diseño mecánico del prototipo.....	11
3.2.1 Diseño del sistema de transporte.....	11
3.2.2 Mecanismo Biela-Manivela	17
3.2.3 Cálculo del momento de fuerza sobre un punto.....	18
3.2.4 Módulo de Punzado	18
3.2.5 Módulo de colocación de la semilla.....	22
3.2.6 Módulo de recubrimiento.....	28
3.3 Diseño Eléctrico y Electrónico del prototipo	28
3.3.1 Tarjeta de Control	28
3.3.2 Motor para Punzado	29
3.3.3 Motor para Colocación de Semilla.....	30
3.3.4 Driver L298N	31
3.3.5 Sensores	32
3.3.6 Fuente de Alimentación	33
3.3.7 Placa electrónica.....	35
3.3.8 Esquema Neumático.....	38
3.3.9 Software	38
CAPÍTULO 4.....	41
PRUEBAS Y RESULTADOS	41
4.1 Modificaciones Estructurales	41
4.2 Pruebas de sujeción de semilla en manifold (distribuidor)	43
4.3 Pruebas de sembrado	47
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
LISTA DE REFERENCIAS	52
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sustrato Agroecológico	4
Figura 2.2. Almacigos o Semilleros	5
Figura 2.3. Diagrama del proceso de sembrado	6
Figura 2.4. Imagen referencial de la siembra manual	7
Figura 2.5. Siembra Mecanizada.....	8
Figura 2.6. Siembra automatizada.....	9
Figura 3.1. Almacigo o Semillero	11
Figura 3.2. Diseño de la banda transportadora.....	12
Figura 3.3. Perfiles de Acero estructural.....	13
Figura 3.4. Diseño de los rodillos (Tensor y Motriz).....	14
Figura 3.5. Chumacera de Pared UCFL 204-12.....	15
Figura 3.6. Eje de Transmisión	16
Figura 3.7. Polea y correa dentada	16
Figura 3.8. Mecanismo Biela-Manivela.....	17
Figura 3.9. Momento de fuerza sobre un punto	18
Figura 3.10. Módulo de Punzado	19
Figura 3.11. Diseño de las puntas y montaje para el punzador.....	19
Figura 3.12. Módulo de punzado (Vista frontal esquematizado).....	20
Figura 3.13. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela (Punzador) ..	21
Figura 3.14. Módulo de colocación de la semilla	22
Figura 3.15. Manifold o Distribuidor para Sujeción de semilla.....	23
Figura 3.16. Agujas Hipodérmicas.....	23
Figura 3.17. Calibres de agujas hipodérmicas	24
Figura 3.18. Depósito de semilla	24
Figura 3.19. Vasos o Conos (Vista Frontal).....	25
Figura 3.20. Módulo de colocación de la semilla (Vista Superior Esquemática)	26
Figura 3.21. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela (Manifold) ..	27
Figura 3.22. Módulo de Recubrimiento (Vista Lateral).....	28
Figura 3.23. Tarjeta Arduino MEGA2560.....	29
Figura 3.24. Motor de la etapa de punzado	29
Figura 3.25. Motor de la etapa de colocación de semilla.....	30
Figura 3.26. Driver L298N.....	31

Figura 3.27. Sensor de proximidad inductivo	32
Figura 3.28. Sensor fotoeléctrico tipo emisor-receptor.....	33
Figura 3.29. Fuente de alimentación para la etapa de potencia	35
Figura 3.30. Fuente de alimentación para la etapa de control.....	35
Figura 3.31. Circuito de aislamiento entre etapa de control y potencia en Proteus ...	36
Figura 3.32. Diseño de la placa electrónica en ARES	36
Figura 3.33. Diseño de la placa en 3D	37
Figura 3.34. Placa electrónica con todos sus componentes	37
Figura 3.35. Diagrama neumático	38
Figura 3.36. Diagrama de flujo de la lógica de programación # 1	39
Figura 3.37. Diagrama de flujo de la lógica de programación # 2.....	39
Figura 3.38. Funciones Punzar y colocar semilla	40
Figura 4.1. Modificaciones estructurales etapa final	41
Figura 4.2. Máquina sembradora implementada.....	42
Figura 4.3. Tablero de control.....	43
Figura 4.4. Representación de las posibilidades de sujeción del manifold.....	44
Figura 4.5. Pruebas de manifold con agujas	44
Figura 4.6. Resumen de porcentajes de siembra en manual	49
Figura 4.7. Resumen de porcentajes de siembra en máquina sembradora.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Especificaciones del tomate <i>cherry</i>	5
Tabla 3.1. Elementos del prototipo del sistema de transporte.....	12
Tabla 3.2. Dimensiones del acero estructural Perfil “G”ASTM A 36	13
Tabla 3.3. Descripción de los rodillos Tensor y Motriz.....	14
Tabla 3.4. Especificaciones de la Chumacera UCFL 204-12	15
Tabla 3.5. Ficha técnica del motor para el punzado.....	30
Tabla 3.6. Ficha técnica del motor para la colocación de la semilla.....	31
Tabla 3.7. Datos técnicos del sensor inductivo	32
Tabla 3.8. Datos técnicos del sensor fotoeléctrico	33
Tabla 3.9. Análisis de carga de la etapa de potencia.....	34
Tabla 3.10. Análisis de carga de la etapa de control	34
Tabla 4.1. Resultados manifold con agujas calibre 21G.....	45
Tabla 4.2. Resultados manifold con agujas calibre 20G	45
Tabla 4.3. Resultados manifold con agujas calibre 18G.....	46
Tabla 4.4. Comparativa de calibres.....	47
Tabla 4.5. Tiempos de siembra manual	47
Tabla 4.6. Tiempos de siembra Automatizada.....	48

RESUMEN

En la mayor parte del Ecuador, incluida la Fundación CAMBUGÁN el proceso de siembra en bandejas de germinación se lo realiza de manera artesanal, al ser este un proceso lento afecta el costo final del producto, por ende las posibilidades de competir en el mercado se ven reducidas y debido a que la producción de plántulas es la principal fuente de ingresos en la Fundación es motivo suficiente para implementar la automatización de la siembra, con la finalidad de que el proceso sea eficiente y aumente la producción.

Bajo estas circunstancias se desarrolló una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación, la misma que automatiza las etapas de punzado del sustrato, colocación de la semilla y recubrimiento de la bandeja. Estos subprocesos se los realiza de manera simultánea, aunque depende de la posición del almácigo y que en el proyecto se encuentra un microcontrolador que es el encargado de recolectar datos de los sensores, tomar decisiones en base a una lógica de programación y dar señales a los actuadores presentes en la máquina con el fin de llenar cada uno de los depósitos de la bandeja con al menos una semilla en el menor tiempo posible, para así cumplir con los requerimientos expuestos en la etapa del diseño del presente proyecto.

Para evaluar la efectividad y funcionalidad del prototipo se realizaron pruebas donde arrojaron datos, los mismos que indican que la siembra automatizada aumenta la productividad y reduce los costos de este proceso.

ABSTRACT

In most of Ecuador, including the CAMBUGÁN Foundation, the seeding process in germination trays is done in an handmade way, since this slow process affects the final cost of the product, therefore the possibilities of competing in the market are seen reduced and because the production of seedlings is the main source of income in the foundation is sufficient reason to implement the automation of planting, in order to make the process efficient and increase production.

Under these circumstances, a linear seeding machine was developed in germination trays, which automates the stages of pricking the substrate, placing the seed and coating the tray. These subprocesses are performed simultaneously, although it depends on the position of the seedbed and in the project there is a microcontroller that is responsible for collecting data from the sensors, making decisions based on a programming logic and signaling the actuators present in the machine in order to fill each of the tanks in the tray with at least one seed in the shortest possible time, in order to fulfill the requirements set forth in the design stage of this project.

In order to evaluate the effectiveness and functionality of the prototype, tests were carried out where they showed data, which indicate that automated planting increases productivity and reduces the costs of this process.

INTRODUCCIÓN

Hasta la actualidad el proceso de siembra se lo sigue haciendo de manera artesanal y recurriendo a técnicas que no son las más efectivas y mucho menos las más precisas para garantizar la germinación de las semillas, por lo cual hacer un proceso de siembra automático es la solución para todos estos inconvenientes.

Haciendo un estudio del mercado se ofrecen máquinas con elementos sofisticados, características adicionales y altos niveles de automatización al proceso de siembra que elevan el costo de producción, que también se ve afectado por la falta de producción de maquinaria dirigida a la agroindustria del país. Estos sistemas adquiridos en el exterior suponen una fuerte inversión no solo por el costo de la máquina sino también por los aranceles que adquiere al proceder del exterior.

Dar una solución que cumpla con el proceso de siembra en bandejas de germinación y que sea de bajo costo es la razón por la cual se ha decidido desarrollar este proyecto y para lograrlo se ha dividido todo el documento en capítulos, mismo que se describen a continuación:

En el capítulo 1 se detallan los objetivos, razones y justificativos por los cuales se diseñó e implementó el presente prototipo.

En el capítulo 2 se presentan los conceptos de cada uno de los componentes que hacen parte de la siembra, los diferentes métodos que se utiliza para realizar la misma y un análisis de las máquinas que se dispone en el mercado.

En el capítulo 3 aquí se describe el diseño de los componentes con su respectiva implementación enfatizando en cada uno de los movimientos que debe realizar para llevar a cabo la siembra sin la intervención de un operario.

En el capítulo 4 se realiza un análisis de los datos arrojados de las pruebas de funcionamiento, en los cuales se comparan los tiempos de producción de los dos tipos de siembra (manual y automatizada).

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del Problema

Debido a que la siembra de semillas de tomate *cherry* en bandejas de germinación se realiza de manera manual, el proceso es lento y limitado lo que se ve reflejado en la producción de las plántulas que la Fundación CAMBUGÁN vende como uno de sus mayores ingresos de recursos económicos.

Uno de los principales inconvenientes que se presenta en el proceso de siembra es la precisión debido a que por situaciones externas se puede tener fallas o equivocaciones propias del ser humano.

Las máquinas para sembrar en bandejas de germinación tienen un costo elevado dependiendo de su capacidad de siembra y del tipo de automatización que se utilice, razón por la cual la fundación no puede permitirse invertir en un sistema demasiado sofisticado, por lo que es necesario evaluar la capacidad de producción de la fundación y en base a esto delimitar las características de la sembradora.

1.2 Justificación del proyecto

El desarrollo de una máquina sembradora en bandejas de germinación permite mejorar los tiempos en la siembra de semillas.

Al automatizar el proceso se requiere de recurso humano reducido, de esta manera los empleados se pueden dedicar a otras actividades que estén dentro de las necesidades de la fundación.

La sembradora es una solución económica en comparación a los sistemas sofisticados de siembra que tienen precios elevados. Por esta razón CAMBUGÁN se ve en la necesidad de implementar un sistema que mejore el proceso de siembra de las semillas de tomate *cherry* para posteriormente producir plántulas que ofrecen como venta al público de la localidad de Pintag y a la comunidad en general.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación para automatizar la siembra de semillas de tomate *cherry* en la Fundación CAMBUGÁN.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de sembrado de semillas de tomate *cherry* en bandejas de germinación en la Fundación CAMBUGÁN para obtener las variables a controlar en el sistema.
- Diseñar una máquina sembradora lineal para automatizar el proceso de siembra de semillas.
- Implementar el hardware y el software de la máquina diseñada para cumplir con los requerimientos de sembrado.
- Analizar la operatividad de la máquina sembradora lineal mediante pruebas y experimentación para la verificación de su funcionamiento.

1.4 Beneficiarios

Los beneficiarios directos del desarrollo de una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación serán la Fundación CAMBUGÁN, así como también sus clientes y los habitantes de la comunidad de Pintag.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se identifica aspectos relevantes de cada una de las etapas dentro del proceso de siembra de tomate *cherry* en semilleros o bandejas de germinación, así como también los distintos métodos utilizados en la agricultura desde los artesanales hasta los más sofisticados sistemas de sembrío implementados en la industria.

2.1 Cultivo en bandejas de germinación

Para el cultivo de plantas el proceso de siembra se puede realizar utilizando diferentes técnicas, una de ellas es de la forma tradicional que se realiza directamente colocando la semilla en el suelo o el terreno. Otro de los métodos es a través de bandejas de germinación (almácigos o semilleros), donde se cultivará la semilla hasta que alcance el estado denominado plántula, el mismo que es susceptible de trasplante del semillero al terreno de cultivo. (Ramo, 2013)

2.2 Elementos básicos para sembrar en bandejas de germinación

Inicialmente para cultivar plántulas en bandejas de germinación o semilleros se debe contar con semillas de calidad, las mismas que son certificadas para este tipo de aplicaciones y cuentan con información sobre el porcentaje de germinación (ver Tabla 2.1). Otro de los elementos necesarios para tener éxito en el proceso de siembra es el sustrato, el mismo que es indispensable para que la plántula tenga un medio en el cual desarrollarse. Finalmente, las bandejas de germinación también denominadas contenedores, almácigos o semilleros, son necesarios debido a que acogerán a la semilla y al sustrato para el cultivo.

Existen otros elementos que pueden ser considerados opcionales tales como abonos, pesticidas, etc. (Ramo, 2013)

2.2.1 Sustrato

Sustrato es el o los elementos donde las plantas ubican sus raíces (Figura 2.1.), sirviendo como estabilizador, anclaje a la tierra y almacenador de nutrientes.

Hay que tener en cuenta que para cultivar la selección del sustrato es de gran importancia, debido al espacio que le ofrece el recipiente y a la capacidad que tenga para retener el agua y los demás nutrientes.

Existen distintos tipos de sustratos como lo son: el sustrato universal, fibra de coco, turba, compost, etc. (EcoAgricultor, 2011)

Figura 2.1. Sustrato Agroecológico



Sustrato Agroecológico elaborado con Humus, Fuente: (EcoAgricultor, 2011)

2.2.2 Bandejas de germinación o Almacigos

También se los conoce como semilleros. Son bandejas con depósitos o alveolos distribuidos en celdas de filas y columnas (ver Figura 2.2), que permiten sembrar y cultivar en un espacio mucho más protegido que de la manera convencional permitiendo cuidar el cultivo de condiciones y situaciones adversas.

Estas bandejas contienen celdas de alveolos en las cuales se coloca el sustrato para, posteriormente, sembrar distintas plantas que pueden ser desde hortalizas y plantas medicinales hasta plantas de tipo ornamental.

Una de las ventajas de estos semilleros es el número de plantas que puede albergar por bandeja, dependiendo del tipo se pueden encontrar desde 30 hasta más de 200 alveolos. Los semilleros están fabricados, generalmente, de plástico y cuentan con orificios en

la parte inferior de los alveolos lo que permite dotar del suficiente drenaje al almácigo. (Hernández, 2015)

Figura 2.2. Almácigos o Semilleros



Almácigos para siembra de semilla también conocidos como semilleros, Fuente: (Hernández, 2015)

2.2.3 Semilla de tomate *Cherry*

El tomate *cherry* es una de las hortalizas que forman parte de la dieta de las personas. En los últimos años su consumo se ha elevado debido a la sencillez de su cultivo y al poco espacio que requiere para su crecimiento. Estos y otros factores relacionados a la germinación del tomate *cherry* se pueden ver en la Tabla 2.1. (Hogarmania, 2013)

Tabla 2.1. Especificaciones del tomate *cherry*

Nombre científico	<i>Solanum lycopersicum</i>
Nombres comunes	Tomate cereza, tomatillo, tinguarake, ojo de venado, jitomate silvestre
Familia	Solanácea
Genero	<i>Solanum</i>
Altura Máxima Planta	1500 mm
Porcentaje de germinación	70%
Tiempo aproximado de germinación	1 meses
Profundidad de siembra	10 mm
Sustrato para la germinación	Turba de coco o humus solido
Ambiente para la germinación	Bandeja de germinación con tapa e iluminación solar directa

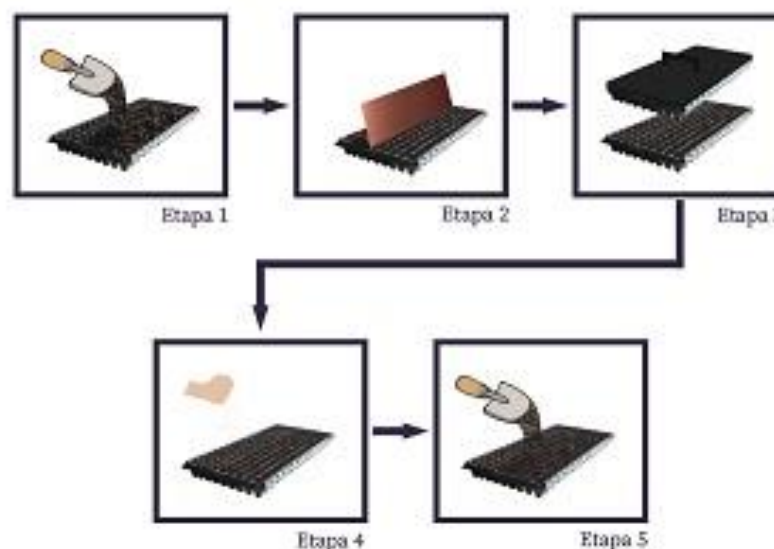
Especificaciones para el cultivo de tomate *cherry*, Fuente: (Hogarmania, 2013)

Este tipo de plantas se cultivan mediante el uso de semilleros, almácigos o bandejas de germinación debido a que representan un espacio más seguro para el desarrollo de la planta hasta su trasplante.

2.3 Proceso de siembra en bandejas

El proceso de siembra cuenta con 5 etapas (ver Figura 2.3), las mismas que son indispensables para que la semilla llegue al estado de plántula. El proceso inicia con la carga del medio en el que se realiza la siembra denominado sustrato (etapa 1), la eliminación del exceso (etapa 2), punzado del sustrato (etapa 3), colocación de la semilla o siembra propiamente dicha (etapa 4) y recubrimiento (etapa 5).

Figura 2.3. Diagrama del proceso de sembrado



Esquema del proceso de sembrado en bandejas de germinación, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

2.4 Técnica de punzado

Para sembrar en bandejas de germinación, primeramente, se debe hacer un surco o hendidura en la tierra de cada alveolo para que la semilla sea depositada, a este proceso se lo denomina punzado y tiene diferentes maneras de hacerlo, la más tradicional de ellas es utilizando los dedos de las manos, lo que conlleva un problema debido a las distintas profundidades de los huecos que deben ser uniformes para que las plantas no se vean retrasadas en su crecimiento y afecte en su desarrollo. Para solucionar esto se

han creado ahoyadores como los de la Figura 2.5, los mismos que cuentan con puntas de madera o plástico atornilladas en fila al mismo nivel, estos elementos definen la profundidad de los huecos para posteriormente depositar la semilla.

2.5 Métodos de siembra en semilleros

Para la siembra en semilleros actualmente se utilizan diversos procesos los cuales permiten realizar esta actividad desde la manera más tradicional y artesanal, es decir, con la utilización de herramientas agrícolas, hasta utilizar tecnología con alto nivel de automatización es por esto que el proceso de sembrado se puede diferenciar en tres tipos diferentes que son: Manual, Mecanizada y Automatizada. (ESPEL, 2015)

2.5.1 Sembrado Manual

En la siembra manual el proceso de sembrado se lleva a cabo de manera artesanal con el uso de las manos o con ayuda de herramientas de agricultura simples como se puede ver en la Figura 2.4.

Este método demanda de mucho tiempo, debido a la colocación de la semilla una por una en cada alveolo de la bandeja y por las diversas imprecisiones propias de un proceso repetitivo, además del desperdicio de semilla al colocarla en distintas cantidades debido a la difícil manipulación que implica tener una semilla de tamaño reducido. Por tal razón se requiere personal que cuente con cierta experiencia en este tipo de labor, esto sumado al precio de la semilla y de los demás insumos agrícolas, incrementan el costo de producción. (ESPEL, 2015)

Figura 2.4. Imagen referencial de la siembra manual



Imagen de la siembra manual en bandejas de germinación, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

2.5.2 Sembrado mediante mecanismos

Este método incluye la utilización de maquinaria mecanizada (ver Figura 2.5), que ayuda a realizar etapas muy puntuales del proceso de siembra, para lo que se han creado herramientas, equipos y dispositivos que facilitan la labor de sembrío.

Este tipo de mecanismos son modulares y funcionan con la asistencia y manipulación de una persona para realizar la operación.

Figura 2.5. Siembra Mecanizada



Siembra en almácigos utilizando mecanismos, Fuente: (Hernández, 2015)

La siembra mediante mecanismos disminuye costos de producción y acelera el sembrío de las semillas, sin embargo, los principales inconvenientes que tienen este tipo de artefactos es el costo y la disponibilidad de estas en el mercado nacional, estas pueden ser puntos importantes a la hora de tomar una decisión en caso de que se quiera invertir en sistemas similares. (ESPEL, 2015)

2.5.3 Siembra automatizada

Este método de siembra utiliza sistemas automatizados (ver Figura 2.6), que reducen al mínimo la actividad del hombre sobre el proceso, limitándolo únicamente al abastecimiento de los insumos como la semilla o el sustrato, etc.

Existen en el mercado desde los más simples hasta los más sofisticados sistemas de siembra en bandejas de germinación, aumentando o reduciendo etapas del proceso de sembrado acorde con las necesidades del cliente. (ESPEL, 2015)

Figura 2.6. Siembra automatizada



Máquina de automática de siembra en almácigos, Fuente: (ESPEL, 2015)

2.6 Análisis de máquinas sembradoras existentes en el mercado

Actualmente, se han desarrollado varias máquinas que permiten sembrar en semilleros, estas máquinas están enfocadas en trabajar para las empresas piladoras las mismas que enfocan sus actividades en producir plántulas para su posterior venta.

En el mercado ofrecen máquinas que van desde operación manual y semiautomática hasta las que ofrecen un gran nivel de automatización, cada una de ellas más sofisticadas que otras y con aditamentos o características que incrementan el costo de adquisición de las mismas e incluso en muchas de las ocasiones el precio se ve afectado por la importación de la maquinaria en el país debido a que una de las falencias que tiene el Ecuador es que aún no se desarrolla maquinaria especializada que pueda cumplir con las necesidades de ciertos sectores como el agrícola en el cual la mayoría de los mecanismos y herramientas son traídos desde el exterior.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El desarrollo del proyecto para la siembra de la semilla tiene varias etapas como se indica en la Figura 2.3. En el presente capítulo se detalla el proceso de análisis del sistema de siembra, el diseño tanto del hardware como del software y la respectiva implementación del prototipo de sembrado.

3.1 Parámetros técnicos del diseño

Dentro del desarrollo del proyecto se propone la implementación de una máquina de siembra automatizada, este prototipo estará basado en especificaciones básicas que se plantearon junto con los administrativos de la Fundación, las mismas que darán forma a un diseño conceptual para posteriormente materializarlo en una estructura real sobre la cual se harán pruebas para la verificación de su funcionamiento. A continuación, se muestra las especificaciones de diseño de la máquina.

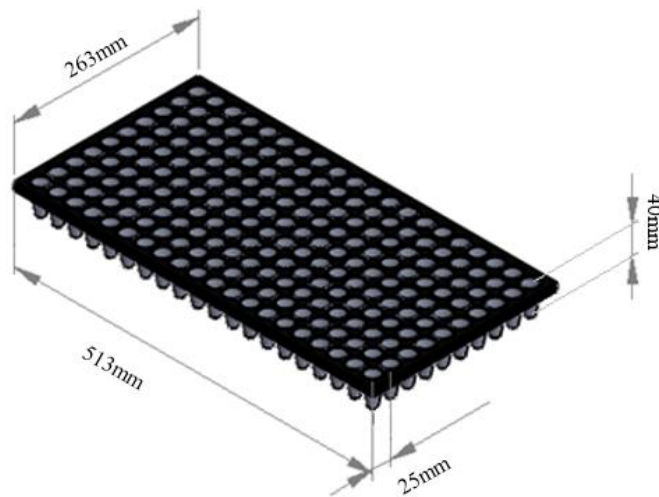
3.1.1 Análisis de requerimientos del sistema

Se desea desarrollar un prototipo de máquina que permita a un operario sembrar en bandejas de germinación, para lo cual se debe tomar en cuenta que este proceso es tedioso y repetitivo, además el sistema debe ser de accionamiento sencillo puesto que él o los operarios no tienen un conocimiento especializado en uso de mecanismos industriales, y finalmente debido a que la labor en los almácigos necesita una inversión considerable de tiempo, se desea optimizar el tiempo de siembra reflejado en cantidad de bandejas sembradas en una sesión planificada.

3.1.2 Dimensiones del Semillero

El almácigo que se dispone para la siembra contiene celdas en un arreglo de 20 filas x 10 columnas de alveolos (ver Figura 3.1) con un total de 200 depósitos o cavidades disponibles.

Figura 3.1. Almacigo o Semillero



Diseño del almacigo (Vista en perspectiva) en el software SOLIDWORKS 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.1.3 Parámetros de siembra de la semilla

En la Tabla 2.1 se indica que la semilla debe ser enterrada a 1 cm de profundidad realizando un surco o cavidad de 10 mm de diámetro dentro del alveolo y debe ser cubierto con una capa ligera de sustrato, turba o humus dependiendo del medio con el que se trabaje.

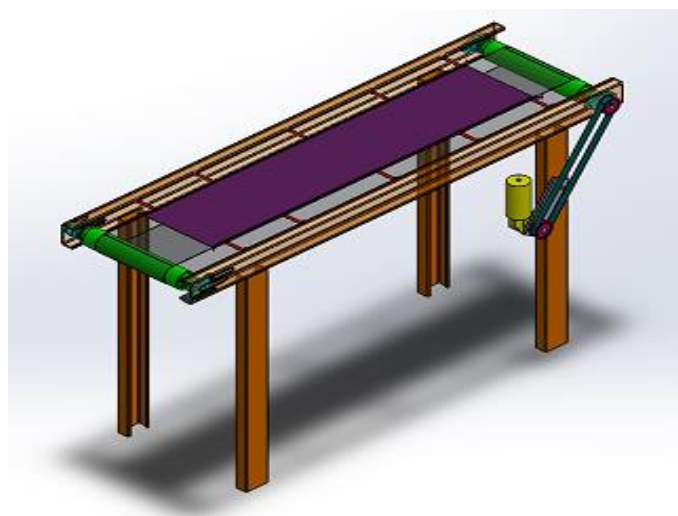
3.2 Diseño mecánico del prototipo

Basados en la información brindada para el desarrollo del prototipo de la máquina sembradora, se establece un diseño que permita realizar el proceso de manera lineal o secuencial, de manera que se pueda colocar las bandejas en un sistema de transporte que las guíe a cada uno de los módulos sobre los cuales se realizará los procesos de sembrado como lo son el punzado, la colocación de la semilla y el recubrimiento del surco.

3.2.1 Diseño del sistema de transporte

El sistema de movimiento que se implementa sobre la máquina es una banda transportadora (ver Figura 3.2), elaborada con una guía de las dimensiones de la bandeja, impulsada con un motor de corriente continua y con un *encoder* incremental de alta resolución para mejorar la precisión en el posicionamiento de la bandeja en cada uno de los módulos o estaciones de trabajo.

Figura 3.2. Diseño de la banda transportadora



Diseño Conceptual de la Banda Transportadora elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

El diseño de la Figura 3.2 se realizó con ayuda del software para modelado de piezas SolidWorks en su versión 2018, en el mismo se muestra el diseño del sistema de movimiento de la bandeja representado en una banda transportadora donde se pueden apreciar con distintos colores cada uno de los elementos del prototipo.

En la Tabla 3.1 se encuentran descritas las partes representadas en el diseño del prototipo.

Tabla 3.1. Elementos del prototipo del sistema de transporte

Color	Elemento
Naranja	Estructura metálica
Verde	Rodillos Motriz y Tensor
Morado	Bandeja soporte para cinta transportadora
Rojo	Soportes horizontales para bandeja soporte
Celeste	Chumaceras con rodamientos para eje de transmisión
Amarillo	Motor reductor DC
Lila	Poleas de transmisión para correa dentada
Verde Oscuro	Correa de transmisión para polea dentada

Partes del prototipo del sistema de transporte de la máquina sembradora, Autores: Miguel Guallichico
David Rodríguez

En el diseño del sistema de transporte destacan ciertos elementos de los cuales se entregará información más específica.

La estructura general diferenciada en color naranja en la Figura 3.2 está elaborada con perfiles de acero estructural, los mismos que debido a su robustez, otorgan mayor durabilidad a la mesa de trabajo sobre la cual serán colocados los módulos de cada una de las etapas de sembrado.

En la Figura 3.3 se puede encontrar la distribución del acero estructural y en la Tabla 3.2 están indicadas las especificaciones.

Figura 3.3. Perfiles de Acero estructural

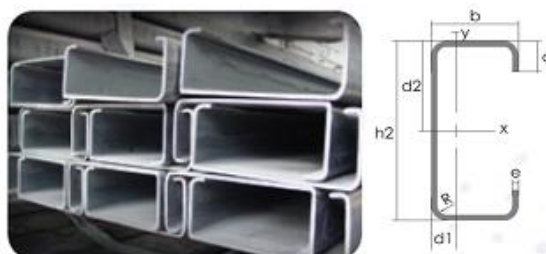


Imagen frontal de los perfiles de Acero estructural, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Tabla 3.2. Dimensiones del acero estructural Perfil “G”ASTM A 36

Perfil “G” ASTM A 36	
Dimensión	[mm]
b	40
c	15
h2	80
e	2

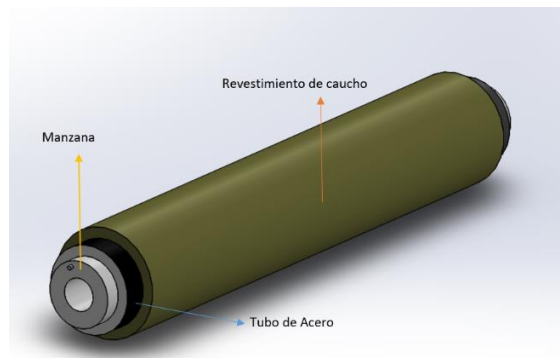
Especificaciones del acero estructural perfil “G” ASTM A 36, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Los rodillos o tambores (tensor y motriz) son parte crucial en la implementación del sistema de transporte. El rodillo tensor permite (como su nombre lo indica) tensar a la cinta de transporte para otorgarle una mayor rigidez y tracción a la hora de transportar a la bandeja o semillero y el rodillo motriz es el que está acoplado al eje de tracción

por tanto es el encargado junto con el motor reductor de proveer movimiento al sistema.

En la Figura 3.4 se puede observar el diseño de la fabricación de ambos rodillos y en la Tabla 3.3 se encuentra información más detallada de cada uno de los elementos que los componen.

Figura 3.4. Diseño de los rodillos (Tensor y Motriz)



Diseño conceptual de los rodillos Tensor y Motriz en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Tabla 3.3. Descripción de los rodillos Tensor y Motriz

Parte	Descripción	Dimensión
Manzanas o Poleas de Sujeción al eje	Estructura torneada en Nylon para sujetar el tubo de acero inoxidable al eje.	Diámetro Interno: 19.05 mm Diámetro Externo: 50.8 mm Largo: 20mm
Tubo de acero inoxidable	Tubo circular utilizado como estructura rodante para la banda transportadora	Diámetro: 50.8 mm Largo: 370mm
Recubrimiento en caucho	Recubrimiento en caucho verde pálido para dotar de un mayor agarre y tracción entre los rodillos y la banda transportadora	Espesor: 7mm Largo: 34mm

Descripción y especificaciones de los rodillos tensor y motriz del sistema de transporte, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

El sistema de movilidad al ser del tipo banda transportadora cuenta con ejes de 19.05 mm en acero de transmisión (ver Figura 3.6) que son montados sobre chumaceras las mismas que dan soporte y una libre rotación a los ejes impulsados por el motor. En la Figura 3.5 se puede observar las chumaceras utilizadas para los ejes de transmisión, son un total de 4 chumaceras para 2 ejes, en la Tabla 3.4 se encuentran las especificaciones de la chumacera.

Figura 3.5. Chumacera de Pared UCFL 204-12



Chumacera UCFL 204-12 metálica de pared, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Tabla 3.4. Especificaciones de la Chumacera UCFL 204-12

Elemento	Chumacera
Modelo	UCFL 204-12
Diámetro del eje	19.05 mm
Distancia entre tornillos	89.916 mm
Largo total	113.03 mm
Altura	59.944 mm
Ancho	33.274 mm
Tipo	2 tornillos, pared

Especificaciones técnicas de la chumacera UCFL 204-12, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Figura 3.6. Eje de Transmisión



Eje de 19.05mm en acero de transmisión, Fuente: (GERONETO, 2019)

La transmisión del movimiento del motor hacia los ejes de la banda se realiza a través de 2 poleas dentada que fueron acopladas, una para el eje de motriz o de tracción (ver Figura 3.7) y la otra para el eje del motor y una correa dentada de transmisión.

Figura 3.7. Polea y correa dentada



Correa de transmisión y polea dentada acoplada al eje de tracción, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.2.2 Mecanismo Biela-Manivela

Este sistema mecánico permite convertir un movimiento circular en un movimiento rectilíneo, una de las características principales de este mecanismo es su reversibilidad ya que puede transformar un movimiento lineal en un movimiento circular en la Figura 3.8 se ilustra de manera clara el funcionamiento del mecanismo.

A este sistema se le aumenta una guía para el desplazamiento de la manivela y el mecanismo será de tipo Biela-Manivela Corredera.

El recorrido de la biela se puede calcular mediante la fórmula:

$$L \text{ (CARRERA)} = 2 \cdot R \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

L: es la longitud de desplazamiento de la biela

R: es la longitud de la manivela

Figura 3.8. Mecanismo Biela-Manivela

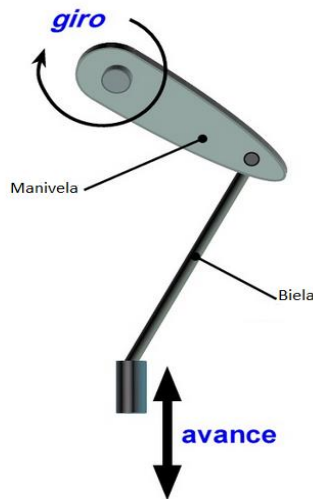


Ilustración del funcionamiento del mecanismo Biela-Manivela, Fuente: (Lozano Moge & Soria Lopez, 2019)

3.2.3 Cálculo del momento de fuerza sobre un punto

Si se considera una fuerza F que actúa sobre un cuerpo rígido como en la Figura 3.9, el efecto de dicha fuerza sobre el cuerpo depende del punto donde se ejerce su aplicación. La posición del punto de aplicación está definida por el vector “ r ”, con esta información se puede definir el Momento de la fuerza F sobre el punto O de la siguiente manera. (Beer, Johnston , Mazurek, Cornwell, & Self, 2013).

$$M_o = r \times F \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Figura 3.9. Momento de fuerza sobre un punto

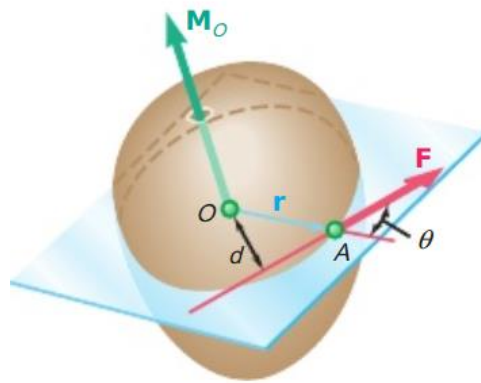
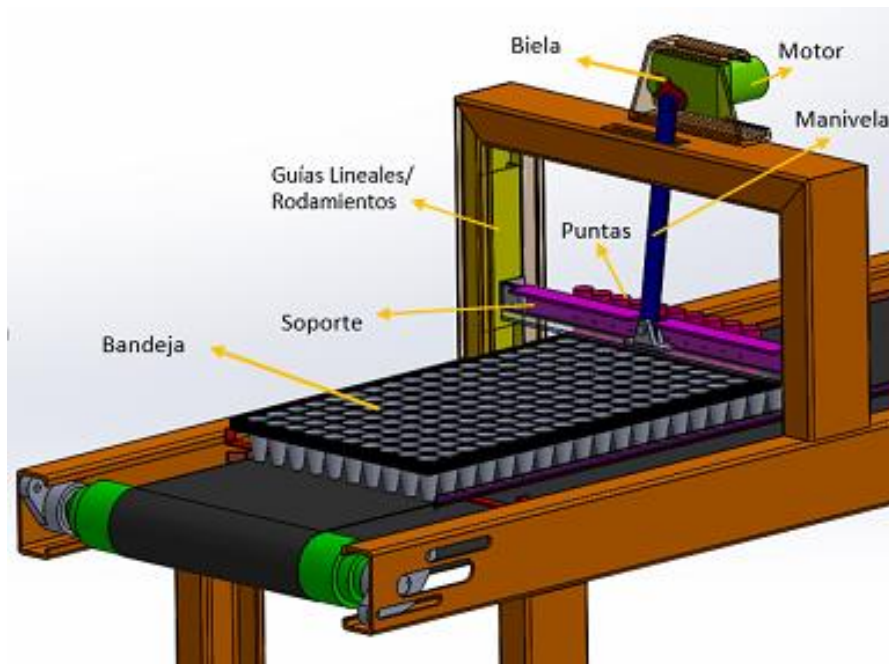


Imagen conceptual del momento de fuerza sobre un punto, Fuente: (Beer, Johnston , Mazurek, Cornwell, & Self, 2013)

3.2.4 Módulo de Punzado

El módulo de punzado (ver Figura 3.10), se creó en base a las especificaciones del semillero, por lo que se desarrolló una herramienta con puntas que permite punzar por filas en cada avance de la banda transportadora, el desplazamiento de las puntas será de tipo lineal y estará guiado por el mecanismo biela-manivela e impulsado por un motorreductor de corriente continua. El sistema será accionado cuando un sensor presencial y la posición del *encoder* indiquen la ubicación de cada una de las filas de alveolos.

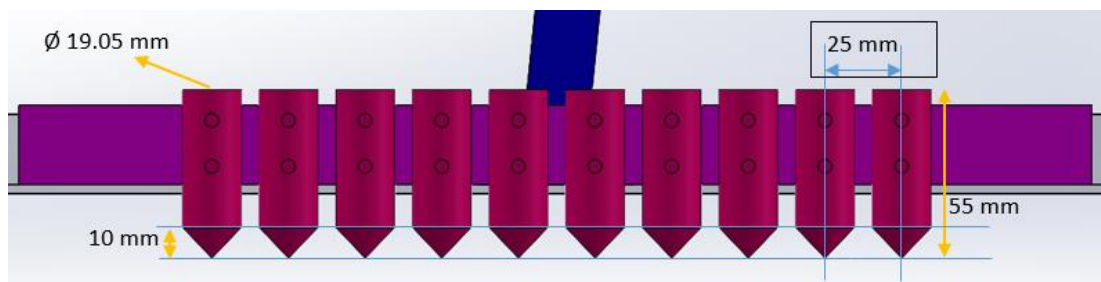
Figura 3.10. Módulo de Punzado



Diseño conceptual del módulo de punzado elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para el módulo de punzado se desarrolló 10 puntas torneadas sobre un tubo macizo de Nylon con un diámetro de 19.05 mm, en la Figura 3.11 se pueden observar las dimensiones de las puntas, las mismas que están insertadas en fila sobre un soporte elaborado con ángulo de aluminio.

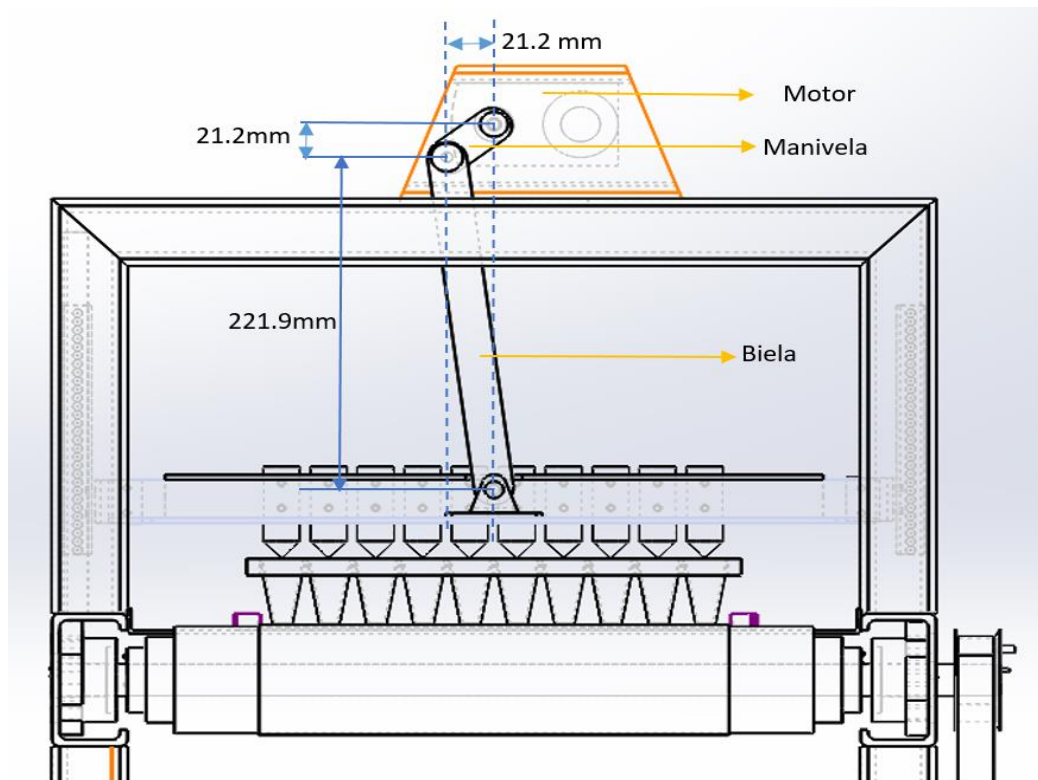
Figura 3.11. Diseño de las puntas y montaje para el punzador



Diseño de las puntas utilizadas en el módulo de punzado realizadas en SolidWorks 2018 Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para que el sistema de punzado tenga un desplazamiento lineal se desarrolló un sistema similar al mecanismo biela- manivela en el cual basado en la ecuación 1 (Ver Ec. (3.1)

Figura 3.12. Módulo de punzado (Vista frontal esquematizado)



Esquema del módulo de punzado en vista frontal realizado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Basado en la información provista en la Figura 3.12 se obtiene tanto la carrera como el torque que se necesita en el motor para efectuar el movimiento.

La longitud de la manivela es de 30 mm y de la biela es de 223 mm, su peso es de 0.18 lb y 0.44lb respectivamente. Finalmente, el peso del mecanismo de punzado es de 2.13 lb.

$$Carrera = 2(Radio\ Manivela) \text{ (ver Ec. (3.1))}$$

$$Carrera = 2(30mm)$$

$$Carrera = 60mm$$

El mecanismo de punzado tendrá un desplazamiento lineal vertical de 60 mm cabe recalcar que la biela del sistema posee un tornillo que permite variar su longitud para ajustar la profundidad del punzado.

Figura 3.13. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela (Punzador)

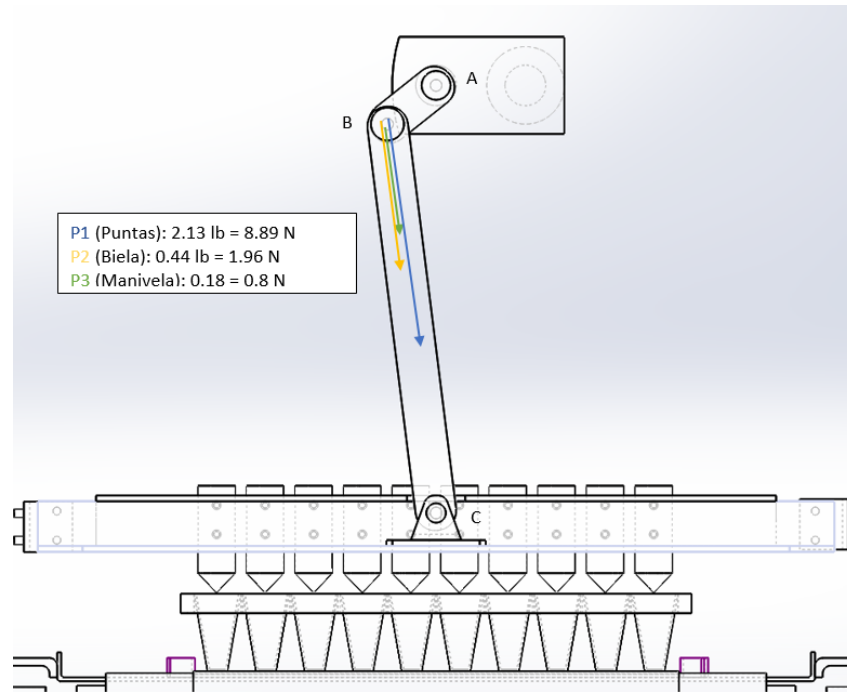


Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela del módulo de punzado elaborado en SolidWorks2018 Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Para el análisis del torque se realizó un análisis del mecanismo biela manivela como un cuerpo rígido obteniendo su sistema equivalente de fuerzas descrito en el diagrama de la Figura 3.13 y haciendo uso de la Ecuación 2 (Ec. (3.2)), para el cálculo del momento de fuerza sobre un punto.

$$M_A = rxF \quad (\text{Ec. (3.2)})$$

$$M_A = r_1 \cdot P_1 + r_2 \cdot P_2 + r_3 \cdot P_3$$

$$M_A = r_{1x}P_1 + r_{1y}P_1 + r_{2x}P_2 + r_{2y}P_2 + r_{3x}P_3 + r_{3y}P_3$$

$$\begin{aligned} M_A &= (0.8 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) + (0.8 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) + (1.96 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) \\ &\quad + (1.96 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) + (8.89 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) \\ &\quad + (8.89 \text{ N} \times 0.0212\text{m}) \end{aligned}$$

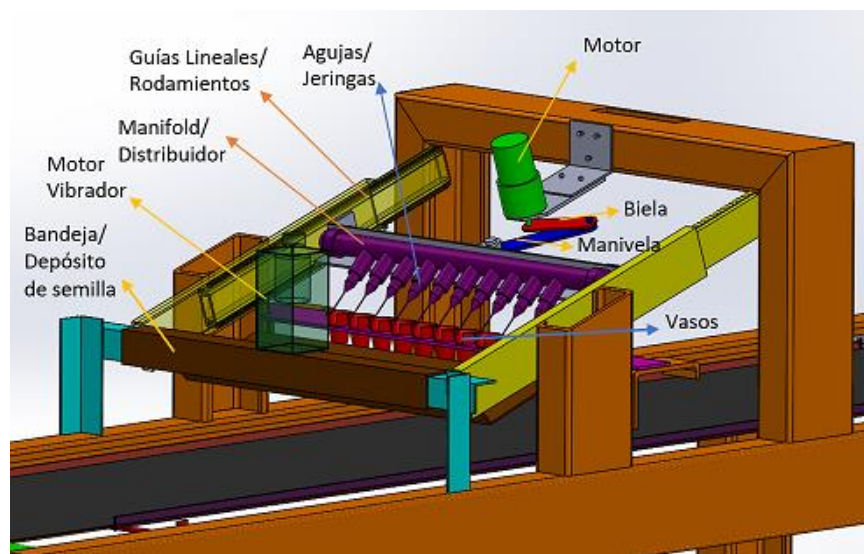
$$M_A = 0.49396 \text{ Nm}$$

Para realizar el movimiento del mecanismo biela manivela del sistema de punzado se necesita un motor que tenga un torque mayor a 0.5 Nm

3.2.5 Módulo de colocación de la semilla

Este módulo se creó en base a las mismas especificaciones que el sistema de punzado para sembrar en fila en cada avance de la banda de transporte (ver Figura 3.14), para lo cual, se implementó un mecanismo de succión o sujeción de semilla basado en un *manifold* o distribuidor neumático acoplado a un sistema de agujas de desplazamiento lineal de la forma del mecanismo biela-manivela impulsado por un motorreductor de corriente continua. El sistema entrará en funcionamiento cuando un sensor presencial y la posición del *encoder* indiquen la ubicación de cada una de las filas de alveolos.

Figura 3.14. Módulo de colocación de la semilla

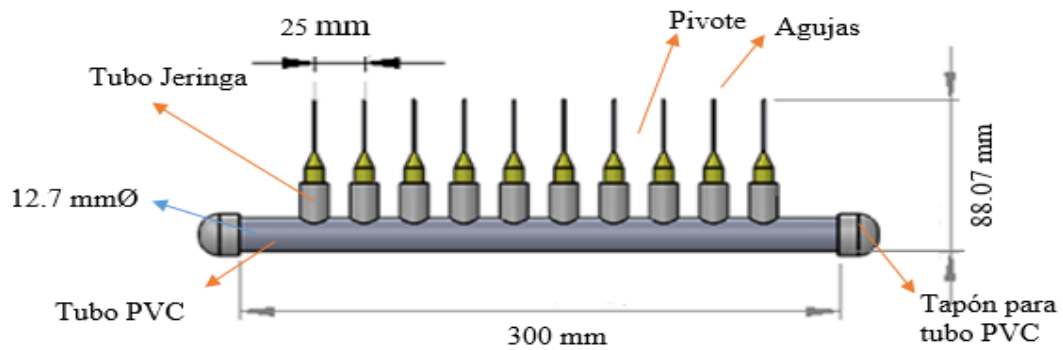


Diseño conceptual del módulo de colocación de la semilla elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para la sujeción de la semilla se implementó un distribuidor montado sobre un tubo de PVC (Policloruro de Vinilo) de 12.7 mm de diámetro, al mismo que, se le colocaron 10 acoples rectos de 8mm a 6.35mm estos son los encargados de recibir el tubo de una jeringa de 5 mililitros como se puede apreciar en la Figura 3.15.

Se utilizó este mecanismo debido a la posibilidad de cambiar las agujas de las jeringas a cada uno de los diámetros comerciales que se pueden conseguir, actualmente, en cualquier lugar de venta de insumos médicos. Este mecanismo permite cambiar de aguja para lograr la sujeción de la semilla de distintos tamaños.

Figura 3.15. *Manifold* o Distribuidor para Sujeción de semilla



Mecanismo distribuidor neumático de jeringas para sujeción de semilla elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

La jeringa de 5 mililitros puede receptar agujas hipodérmicas elaboradas en acero inoxidable de grado médico de la marca NIPRO. La característica principal de estas agujas es que se pueden encontrar en distintos calibres (ver Figura 3.16), desde 18G hasta 30G, esta denominación es la que determina el diámetro interior de la aguja, cuanto mayor es el calibre más fina es la aguja, además cada grado está identificado con un color diferente. En la Figura 3.17 se puede observar las agujas disponibles comercialmente con sus dimensiones específicas. (Iberomed, 2018)

Figura 3.16. Agujas Hipodérmicas



Agujas Hipodérmicas comerciales diferenciadas por color, Fuente: (Iberomed, 2018)

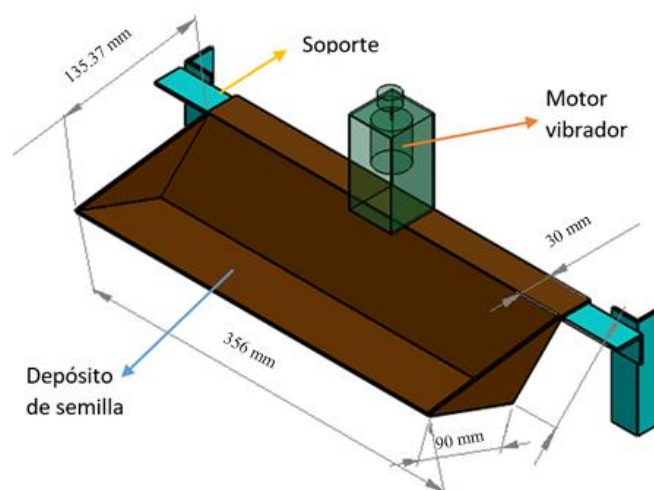
Figura 3.17. Calibres de agujas hipodérmicas

Sistema inglés		Color	Sistema métrico	
Diámetro	Longitud pulgadas		Diámetro	Longitud milímetros
18G	1 1/2	Rosa	1,20	40
19G	1 1/2	Marfil	1,10	40
19G	1 1/4	Marfil	1,10	30
19G	2	Marfil	1,1	50
20G	1 1/2	Amarillo	0,9	40
20G	1	Amarillo	0,9	25
20G	2 3/4	Amarillo		
21G	1 1/2	Verde	0,8	40
21G		Verde	0,8	50
21G	1	Verde	0,8	25
21G	4 3/4	Verde	0,8	120
22G	1 1/4	Negro	0,7	30
23G		Azul	0,6	30
23G	1	Azul	0,60	25
23G	2 3/8	Azul	0,6	30
25G	1 1/2	Naranja	0,5	40
25G	1	Naranja	0,5	25
25G	5/8	Naranja	0,5	16
26G		Marrón	0,45	12
27G	1 1/2	Gris	0,4	40
27G	1	Gris	0,4	25
27G	1 1/2	Gris		
30G	1 1/2	Amarillo	0,30	12

Calibres de jeringas hipodérmicas disponibles comercialmente, Fuente: (Iberomed, 2018)

Las semillas serán recogidas desde un depósito (ver Figura 3.18) creado a partir de una lámina de acero inoxidable de 1mm de espesor con una estructura de bandeja la misma que está diseñada para distribuir de manera uniforme la semilla en conjunto con un motor vibrador.

Figura 3.18. Depósito de semilla

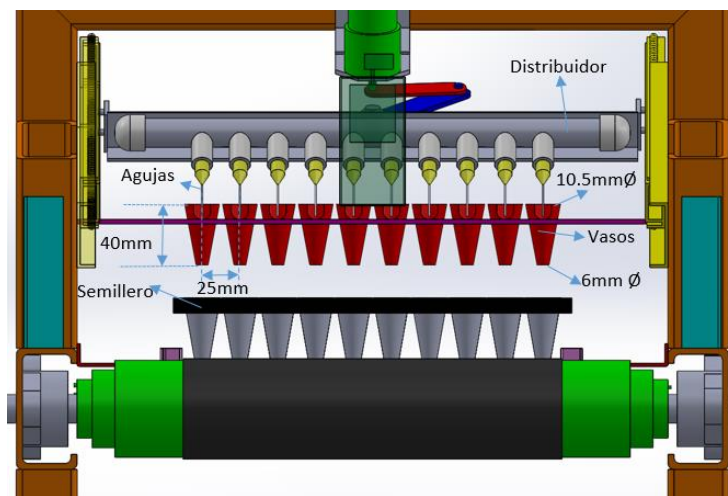


Diseño conceptual del depósito para semilla elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

El depósito será colocado sobre un soporte elaborado con ángulo de acero el mismo que cuenta con un mecanismo para variar su altura y así colocar la bandeja al nivel de posición respecto a las agujas del distribuidor o *manifold*.

Para garantizar que la semilla sea colocada en el centro de cada alveolo, donde se realizó el punzado previamente, se implementó un mecanismo de vasos o conos (ver Figura 3.19), los cuales cumplen con esta tarea permitiendo que la semilla no sea ubicada fuera de lugar y generando pérdidas y desperdicio.

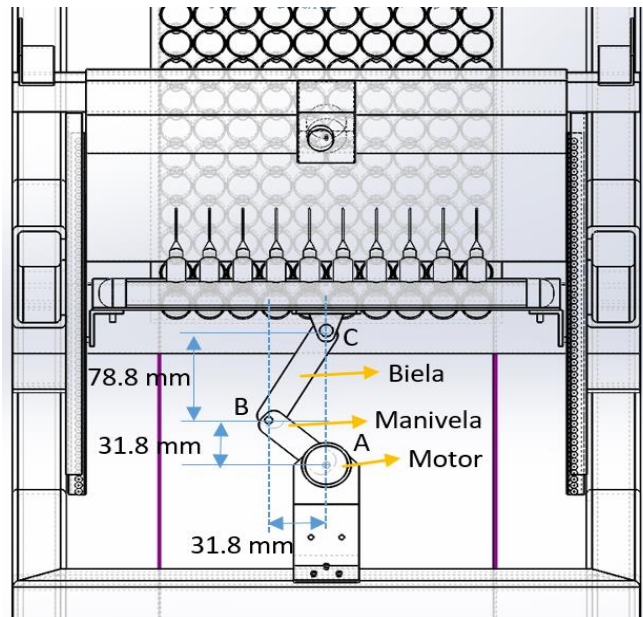
Figura 3.19. Vasos o Conos (Vista Frontal)



Vasos o conos para direccionar la semilla, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para que el *manifold* o distribuidor tenga un desplazamiento lineal se desarrolló un sistema similar al mecanismo biela-manivela para el prototipo basado en la ecuación 3.1 (ver Ec. (3.1))

Figura 3.20. Módulo de colocación de la semilla (Vista Superior Esquemática)



Esquema del módulo de colocación de la semilla en vista frontal elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Con la información provista en la Figura 3.20 se obtiene tanto la carrera como el torque necesario para que el motor realice el movimiento.

La longitud de la manivela es de 45 mm y de la biela es de 85 mm, su peso es de 0.31 lb y 0.35 lb respectivamente. Finalmente, el peso del mecanismo de punzado es de 2.33 lb.

$$Carrera = 2(Radio Manivela) \quad (Ec. (3.1))$$

$$Carrera = 2(45mm)$$

$$Carrera = 90mm$$

El distribuidor tendrá un desplazamiento lineal vertical de 90 mm este es el recorrido o la carrera que realizara el mecanismo sobre la bandeja o depósito de la semilla.

Figura 3.21. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela (Manifold)

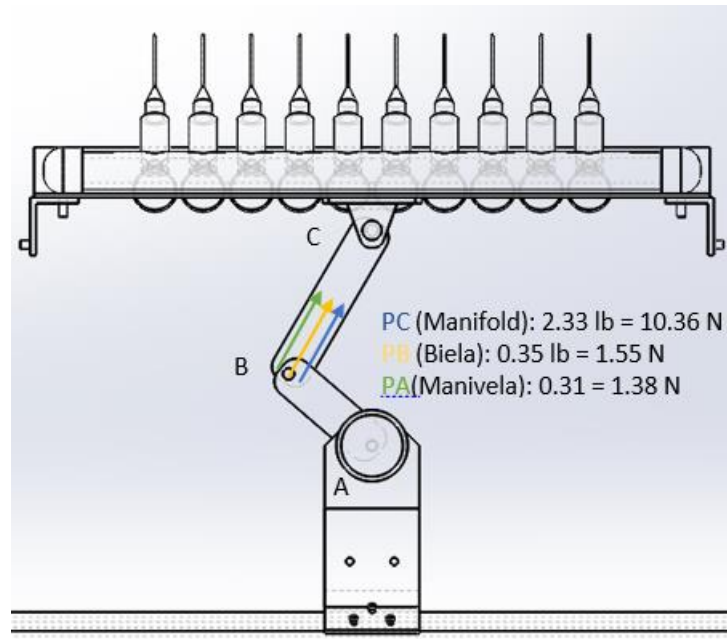


Diagrama de cuerpo libre del mecanismo biela manivela del módulo de colocación de la semilla elaborado en SolidWorks2018 Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Para el cálculo del torque se realizó un análisis del mecanismo biela manivela como un cuerpo rígido obteniendo su sistema equivalente de fuerzas descrito en el diagrama de la Figura 3.21 y haciendo uso de la Ecuación 2 (Ec. (3.2)), para el cálculo del momento de fuerza sobre un punto.

$$M_A = rxF \quad (\text{Ec. (3.2)})$$

$$M_A = r_1 \cdot P_A + r_2 \cdot P_B + r_3 \cdot P_C$$

$$M_A = r_{1x}P_A + r_{1y}P_A + r_{2x}P_B + r_{2y}P_B + r_{3x}P_C + r_{3y}P_C$$

$$M_A = (1.38 \text{ N} \times 0.0318\text{m}) + (1.38 \text{ N} \times 0.0318\text{m}) + (1.55 \text{ N} \times 0.0318\text{m}) \\ + (1.55 \text{ N} \times 0.0318\text{m}) + (10.36 \text{ N} \times 0.0318\text{m}) \\ + (10.36 \text{ N} \times 0.0318\text{m})$$

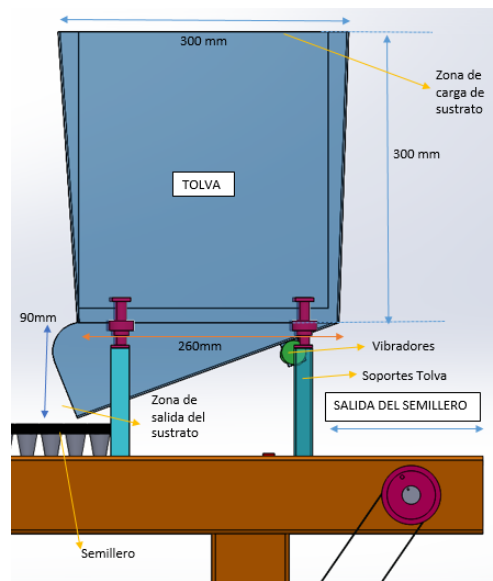
$$M_A = 0.8428\text{Nm}$$

Para realizar el movimiento del mecanismo biela manivela del sistema de colocación de la semilla necesita un motor que tenga un torque mayor a 0.9 Nm

3.2.6 Módulo de recubrimiento

Esta es la etapa final del proceso de sembrado en este módulo se desarrolló una tolva (ver Figura 3.22), para dosificación de sustrato o turba la misma que distribuye la sustancia sobre cada fila de alveolos de la bandeja en cada avance de la banda transportadora mediante el accionamiento de motores con vibradores, los mismos que, al activarse desplazarán la sustancia hasta tapan el surco realizado con el módulo de punzado y luego de haber sido depositada la semilla.

Figura 3.22. Módulo de Recubrimiento (Vista Lateral)



Diseño conceptual del módulo de recubrimiento (Vista Lateral) elaborado en SolidWorks 2018, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

3.3 Diseño Eléctrico y Electrónico del prototipo

Para que la parte estructural de la máquina entre en operación necesita de elementos eléctricos y electrónicos como fuentes, sensores y actuadores, los mismos que al trabajar en conjunto con el controlador realizan el proceso de siembra, por esto, se debe indicar los elementos utilizados en esta parte del desarrollo, apartado indispensable para comprender el funcionamiento.

3.3.1 Tarjeta de Control

Para el control de la máquina sembradora se utiliza la tarjeta de desarrollo ARDUINO MEGA 2560 (ver Figura 3.23) basado en el microcontrolador ATmega 2560, misma que permitirá controlar y supervisar a cada uno de los sensores y actuadores presentes

en los módulos de la máquina sembradora. Esta tarjeta consta de 54 pines digitales de los cuales 15 se los puede utilizar como salidas PWM (Modulación de Ancho de Pulso) una gran ventaja al momento de elegir el microcontrolador, debido a que son necesarios alrededor de 30 pines digitales y de los cuales son necesarios 6 salidas PWM para variar la velocidad de los actuadores eléctricos presentes en el proyecto. Además de disponer de 256 kB de memoria flash, 8KB SRAM, 4KB EEPROM y un reloj de 16MHz, lo que lo hace una solución muy confiable y de bajo costo. (ARDUINO, 2018)

Figura 3.23. Tarjeta Arduino MEGA2560



Vista isométrica de la tarjeta de desarrollo Arduino MEGA 2560, Fuente: (ARDUINO, 2018)

3.3.2 Motor para Punzado

El motor que mueve el sistema de punzado debe tener un torque mayor a los 0.5 Nm, dato que fue arrojado del análisis del sistema biela-manivela de la sección de punzado, motivo por el cual se instaló el motor que se detalla en la Figura 3.24

Figura 3.24. Motor de la etapa de punzado



Motor de corriente directa instalado en la etapa de punzado, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Los datos técnicos de este motor se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Ficha técnica del motor para el punzado

Modelo	38E-LG-29- KA
Marca	LG
Consumo de corriente	0.6 A
Velocidad angular	167.4 rpm
Peso	152 g
Voltaje de entrada	12-24Vcc
Torque	0.78 Nm

Especificaciones técnicas del motor de corriente directa utilizado en la etapa de punzado, Autores:
Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.3.3 Motor para Colocación de Semilla

De la misma manera que en el apartado 3.3.2 se realiza para el motor de esta etapa (ver Figura 3.25), pero con la diferencia de que para mover esta sección de la máquina se necesita un torque mayor a los 0.9 Nm.

Figura 3.25. Motor de la etapa de colocación de semilla



Motor de corriente directa instalado en la etapa de colocación de la semilla, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

El motor de la Figura 3.25 consta con las características que se detallan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Ficha técnica del motor para la colocación de la semilla

Modelo	S330114
Marca	LG
Consumo de corriente	0.5 A
Velocidad angular	81 rpm
Peso	200 g
Voltaje de entrada	12-24Vcc
Fuerza	0.98 Nm

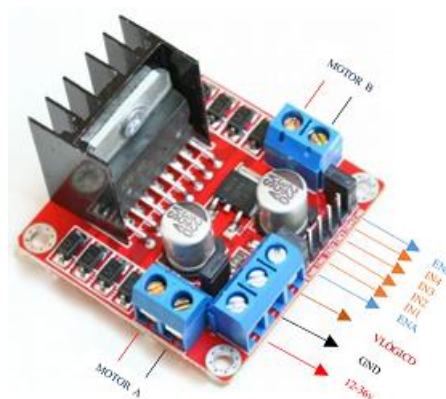
Especificaciones técnicas del motor de corriente directa utilizado en la etapa de colocación de semilla,

Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.3.4 Driver L298N

Es una tarjeta que permite variar la velocidad y el sentido de giro en motores de corriente continua, se lo construye entorno al circuito integrado L298N (ver Figura 3.26), que trabaja en el rango de 3 hasta 35 V, soporta hasta 2 amperios de manera constante. La placa funciona en su parte digital gracias a que posee un regulador de voltaje siempre y cuando el voltaje de entrada no sobrepase los 12V y el jumper regulador esté conectado, En caso de sobrepasar este voltaje se debe quitar el jumper regulador y alimentar la parte lógica con una fuente adicional de 5V.

Figura 3.26. Driver L298N



Distribución de pines del driver L298N, Fuente: (Andrade García, 2015)

El driver cuenta con borneras a los costados para la conexión de los motores, los pines IN1 e IN2 invierten el sentido de la corriente del motor A por ende cambian en sentido de giro del motor, de la misma manera pasa para el motor B con los pines IN3 e IN4.

Para variar la velocidad de los actuadores eléctricos se utiliza los pines ENA y ENB, mismos que tendrán que ir conectados a salidas PWM de la tarjeta de control.

3.3.5 Sensores

La elección de los sensores se la realiza dependiendo la necesidad o el parámetro a medir, en el caso de los módulos de punzado (ver Figura 3.10) y colocación de semilla (ver Figura 3.12) se necesita conocer la posición de cada uno de los mecanismos, por lo cual se elige un sensor de proximidad (ver Figura 3.27).

Figura 3.27. Sensor de proximidad inductivo



Imagen del sensor inductivo con su respectivo cable de conexión, Fuente: (PatagoniaTec, 2019)

Las especificaciones del sensor inductivo se detallan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Datos técnicos del sensor inductivo

Modelo	LJ12A3-4-Z/BX
Tipo de sensor	Inductivo
Distancia de detección	4mm
Voltaje de alimentación	6-36V
Tipo de salida	NPN
Corriente	0.3A
Tamaño	62X20mm

Datos técnicos del sensor inductivo, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para la detección del almácigo se necesita que el sensor no sea invasivo debido a que no se debe encontrar ningún obstáculo en el sistema de transporte, por lo cual la

solución para esto es colocar un sensor fotoeléctrico emisor-receptor (ver Figura 3.28), además que su rango de sensado es mayor que los inductivos.

Figura 3.28. Sensor fotoeléctrico tipo emisor-receptor



Manera correcta de colocar el emisor y receptor, Fuente: (SAHABAT, 2016)

Los detalles técnicos del sensor de la Figura 3.28 se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Datos técnicos del sensor fotoeléctrico

Modelo	BY500-TDT
Distancia de detección	500mm
Tiempo de respuesta	Max 1ms
Fuente de luz	Infrarroja
Tipo de salida	NPN
Protección	IP50
Voltaje de alimentación	12-24Vcc
Consumo de corriente	30mA

Especificaciones del sensor fotoeléctrico BY500-TDT, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.3.6 Fuente de Alimentación

Al conocer las características eléctricas de cada uno de los componentes a utilizarse en la máquina, se procede a elegir una fuente de alimentación que garantice la tensión y corriente de cada uno de estos elementos. Al manipular cantidades relativamente

grandes de corriente en la etapa de potencia, es necesario aislar esta etapa de la de control, por este motivo es que se hace necesario utilizar dos fuentes de alimentación. El estudio de carga de la etapa de potencia se lo detalla en la Tabla 3.9

Tabla 3.9. Análisis de carga de la etapa de potencia

Cantidad	Componente	Carga (A)
4	Sensores inductivos	1.2
2	Sensores de barrera	0.2
3	Vibradores	1.5
1	Motor de punzado	0.6
1	Motor del semillero	0.5
1	Motor de la banda	0.7
2	Electroválvula	1
	Total	5,7

Consumo de corriente de los componentes que conforman la etapa de potencia, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para la etapa de control el análisis de carga se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Análisis de carga de la etapa de control

Cantidad	Componente	Carga (A)
1	Arduino Mega	0.1
4	Leds	0.16
15	4n35	0,24
5	Pulsador	0.2
	Total	0,7

Consumo de corriente de los componentes que conforman la etapa de control, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Dado que para la etapa de potencia se necesitan 5,7A se elige la fuente que se muestra en la Figura 3.29, misma que entrega 12Vcc y 10 A de corriente suficientes para que los elementos de esta etapa funcionen con un voltaje de entrada de 110Vca. Además,

cuenta con una carcasa metálica, un led indicador de funcionamiento y un potenciómetro para ajustar el voltaje de salida.

Figura 3.29. Fuente de alimentación para la etapa de potencia



Vista lateral derecha de la fuente de alimentación para la etapa de control, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

En la etapa de control el requerimiento de corriente es de 0.7 A, se opta por una fuente (ver Figura 3.30) que suministra 12Vcc y 3A con un voltaje de entrada de 110Vac, esta consta de una carcasa plástica y un led indicador de funcionamiento.

Figura 3.30. Fuente de alimentación para la etapa de control



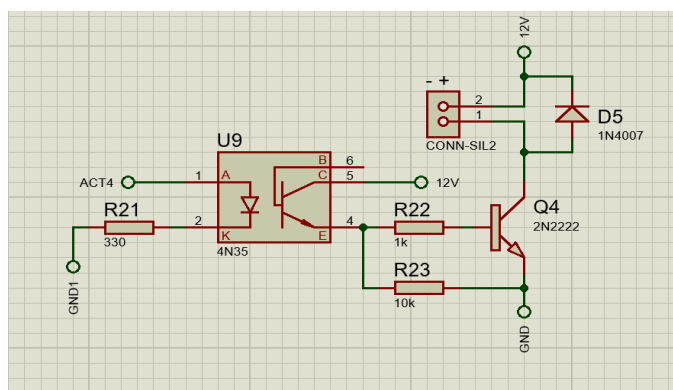
Vista superior de la fuente de alimentación para la etapa de control, Fuente: (Cozen, 2019)

3.3.7 Placa electrónica

El diseño de la placa electrónica se lo llevó a cabo en el software de diseño electrónico Proteus 8 Professional, esta contiene el acondicionamiento necesario para que sensores, actuadores, indicadores y demás periféricos de la máquina funcionen acorde a los requerimientos eléctricos de los mismos. Al conocer todas estas características tanto en niveles de tensión y corriente, se procede con el diseño del PCB (Printed Circuit Board).

Al manejar grandes cantidades de corriente en la etapa de potencia es indispensable tomar en cuenta protecciones eléctricas para salvaguardar la integridad del operario y proteger la etapa de control. Por lo cual, es necesario aislar ambas etapas por medio de optoacopladores (Ver Figura 3.31), diríjase al **Anexo 1** para visualizar con más detalle.

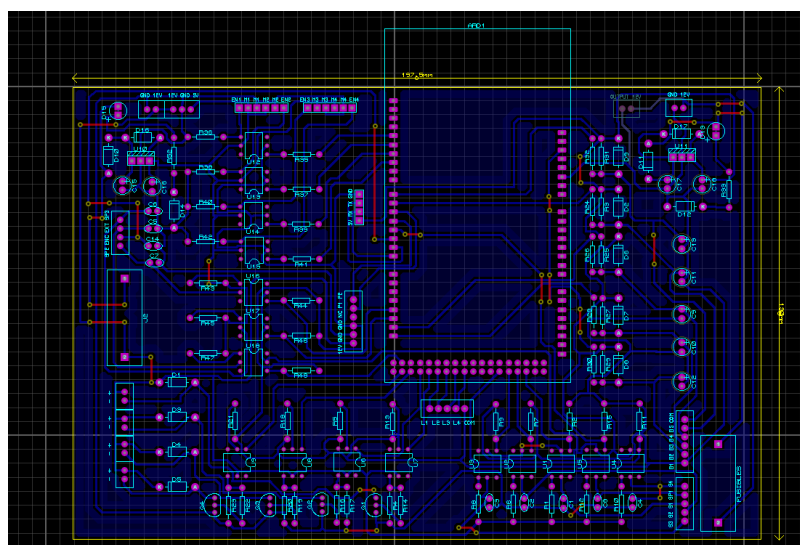
Figura 3.31. Circuito de aislamiento entre etapa de control y potencia en Proteus



Conexión de los elementos que conforman el circuito de aislamiento, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Una vez realizado la simulación en Proteus y dimensionado todas las protecciones que debe tener la circuitería, se puede observar en la Figura 3.32 el diseño del PCB de la placa electrónica, la cual tiene unas dimensiones de 195,5 x 130mm, para visualizar el diagrama esquemático del controlador diríjase al **Anexo 2**.

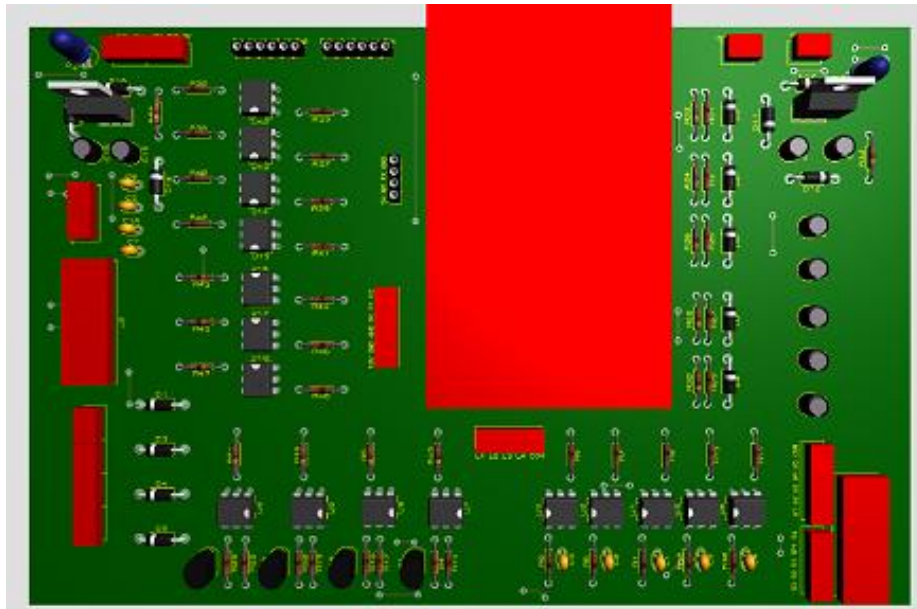
Figura 3.32. Diseño de la placa electrónica en ARES



Vista superior de la placa con sus respectivas rutas (conexiones), Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

En la Figura 3.33 se tiene una imagen 3D del diseño de la placa electrónica en Proteus, mientras que en la Figura 3.34, se observa la parte superior de la placa electrónica.

Figura 3.33. Diseño de la placa en 3D



Vista superior de la distribución de componentes y el diseño de la placa en 3D, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Figura 3.34. Placa electrónica con todos sus componentes

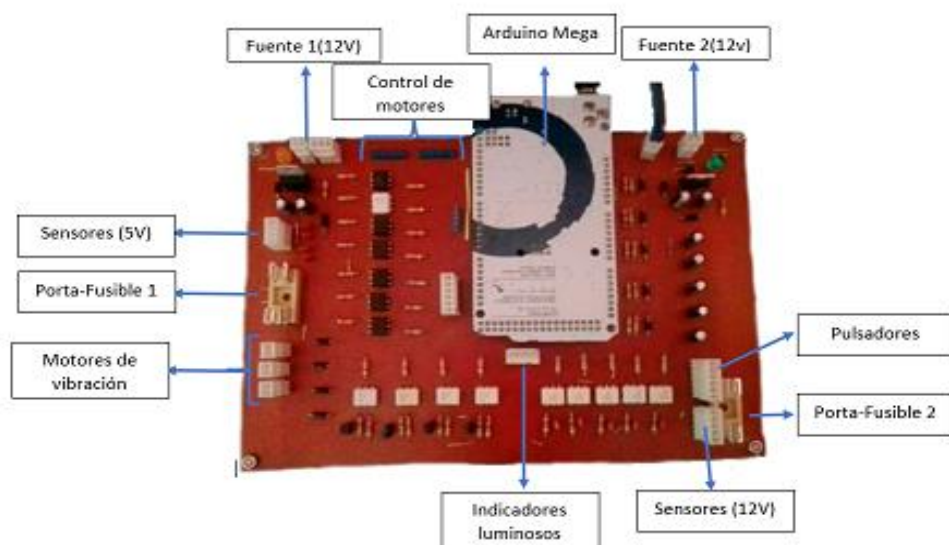


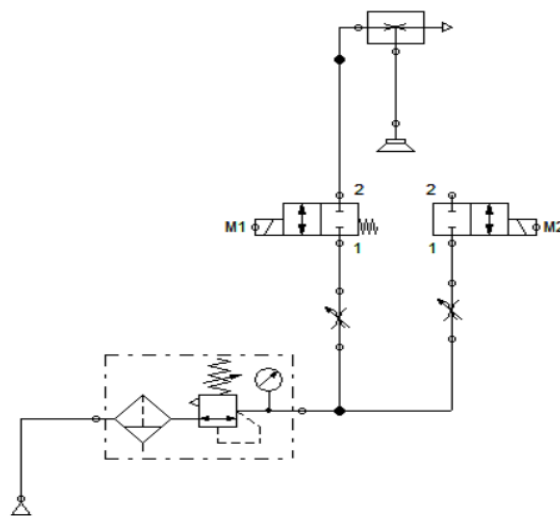
Imagen real de la placa electrónica, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.3.8 Esquema Neumático

La parte neumática que compete al proyecto se determina desde la necesidad de generar vacío, para que de esta manera se pueda agarrar la semilla sin que esta sufra deformaciones o lo que puede ser aún peor el quebrantamiento de esta; además de que el sistema neumático deberá contar con una etapa de expulsión de la semilla hacia el almácigo. Esto se debe a que muchas de las veces la semilla guarda impurezas que pueden tapar o que la semilla no se despegue de la jeringa, lo que puede generar que no se deposite la semilla en su respectivo orificio.

En la Figura 3.35 se detalla el diagrama neumático, donde las bobinas M1 y M2 son las encargadas de permitir el paso del aire comprimido hacia el *Mainfold* para que sople las impurezas atrapadas en las jeringas o hacia la tobera de succión de vacío y de esta manera generar una depresión y así las semillas se acarren a las puntas del *Mainfold*.

Figura 3.35. Diagrama neumático

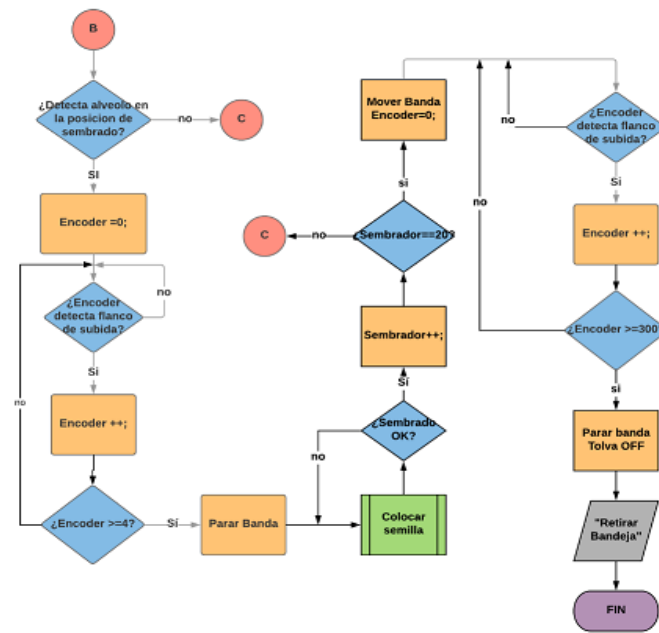


Parte neumática utilizada en el agarre y expulsión de la semilla, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

3.3.9 Software

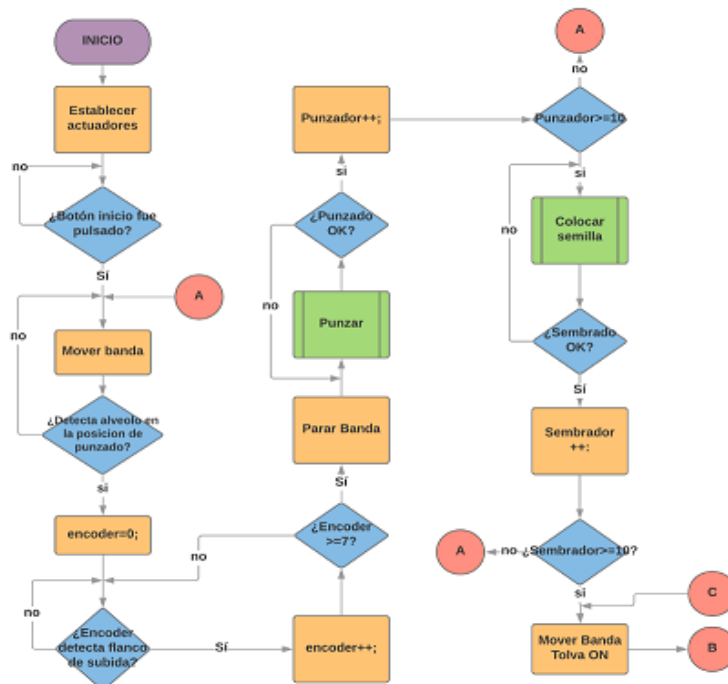
En la parte lógica de la máquina, se parte de un diagrama de flujo (ver Figura 3.36 y Figura 3.37) en cual permite representar gráficamente el proceso, para de esta manera entenderlo y programarlo en el IDE de Arduino.

Figura 3.36. Diagrama de flujo de la lógica de programación # 1



Primera parte del diagrama de flujo, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

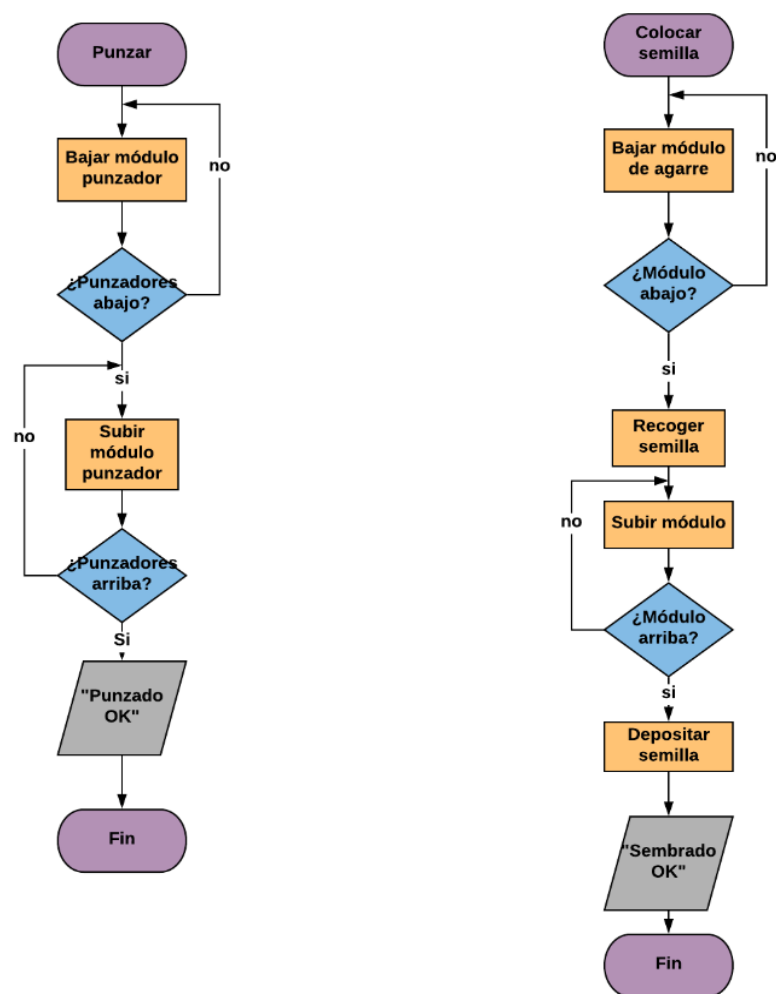
Figura 3.37. Diagrama de flujo de la lógica de programación # 2



Segunda parte del diagrama de flujo, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

En la Figura 3.38 se detallan las funciones realizadas para el diagrama de flujo

Figura 3.38. Funciones Punzar y colocar semilla



Subrutinas que se ejecutan en el programa principal (main), Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Para observar detalladamente el código de programación refiérase al **Anexo 3**

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la máquina sembradora en funcionamiento con la finalidad de posteriormente analizar los datos obtenidos y sintonizar el prototipo para un funcionamiento óptimo.

Sobre el trayecto del desarrollo del prototipo se han realizado cambios en algunos aspectos de la máquina los mismos que han servido para dar un mejor funcionamiento a la hora de realizar el proceso para el que fue creada y reducir al mínimo las imprecisiones que se puedan suscitar en el proceso de sembrado.

4.1 Modificaciones Estructurales

El diseño estructural de la máquina se ha mostrado a lo largo del capítulo 3 sin embargo para este punto se han implementado ciertas modificaciones que ayudan a un mejor desempeño del proyecto.

Se han realizado 3 cambios estructurales que se muestran en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Modificaciones estructurales etapa final

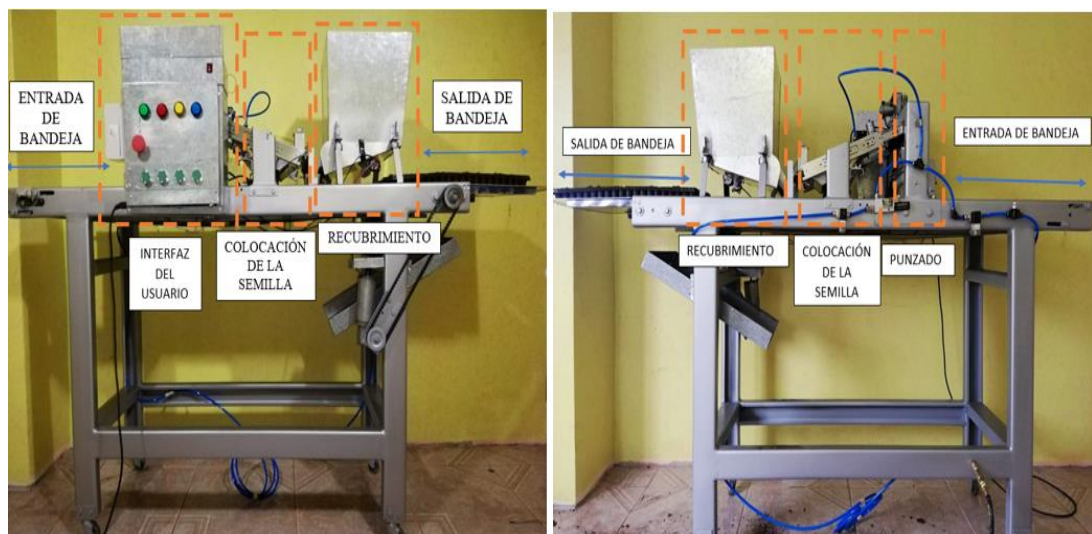


Modificaciones estructurales implementadas en la etapa final de la máquina sembradora, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Primeramente, se implementó una mesa para la salida de los semilleros, debido a que al finalizar el proceso la bandeja no tenía un lugar de recolección. También se colocó cepillos para limpiar la banda transportadora de los residuos de sustrato que porta debido a la siembra, los mismos que van a dar en una bandeja que recolecta el sustrato excedente del final del proceso.

En la Figura 4.2 se puede observar a la máquina sembradora implementada con las adecuaciones antes mencionadas.

Figura 4.2. Máquina sembradora implementada

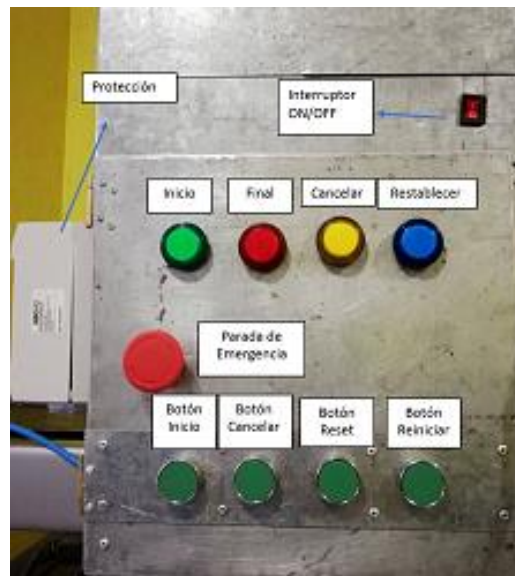


Máquina sembradora lineal en bandejas de germinación (Vista frontal y posterior), Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Para que el operador ponga en funcionamiento la máquina se desarrolló una interfaz de control la misma que está dotada de 4 led indicadores para las acciones de INICIO, FINALIZACIÓN, CANCELAR y RESTABLECER; además de 4 pulsadores industriales que están colocados para acceder a las opciones de “Iniciar”, “cancelar”, “Resetear” el microcontrolador y “Restablecer” la máquina para un nuevo proceso.

Finalmente, se ubicó un botón de “Paro de emergencia”, que servirá como protección externa accionada por el usuario cuando dependiendo de la situación lo vea conveniente. La ubicación de estos elementos se puede observar en la Figura 4.3

Figura 4.3. Tablero de control



Distribución de la interfaz de control del usuario, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Para tener una breve introducción del funcionamiento de la máquina refiérase al **Anexo 4**

4.2 Pruebas de sujeción de semilla en manifold (distribuidor)

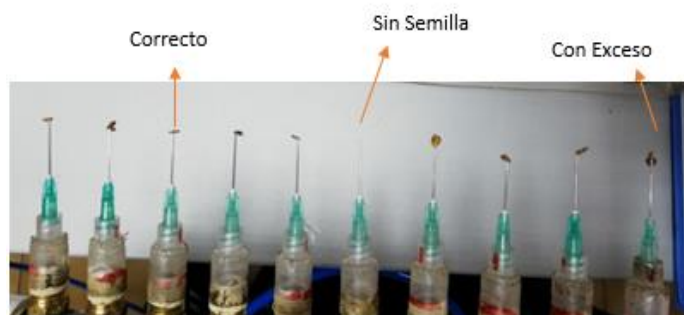
Para determinar la eficiencia de la máquina sembradora se realizaron pruebas sobre el elemento *manifold* neumático en el que se encuentran ubicadas las agujas hipodérmicas las mismas que sujetan la semilla y la trasladan desde el depósito hasta los vasos o conos y encaminan hacia los alveolos del semillero.

Para verificar el funcionamiento de la etapa de colocación de la semilla se utilizaron 3 tipos de calibres de aguja hipodérmica que son el 18G, 20G y 21G sus dimensiones se encuentran disponibles en la Figura 3.17.

Se tomaron 10 muestras del funcionamiento de cada calibre en distintos valores de presión de aire comprimido. Los resultados se han organizado en las Tabla 4.1, Tabla 4.2 y Tabla 4.3 que indican un resumen del comportamiento del *manifold* donde se utiliza la letra “B” para indicar el número de agujas con al menos una semilla, la letra “M” para indicar el número de agujas sin ninguna semilla y la letra “E” para indicar el número de agujas que tienen un exceso en la sujeción es decir tiene 2 o más semillas sujetas.

En la Figura 4.4 se puede observar un ejemplo de las posibilidades indicadas.

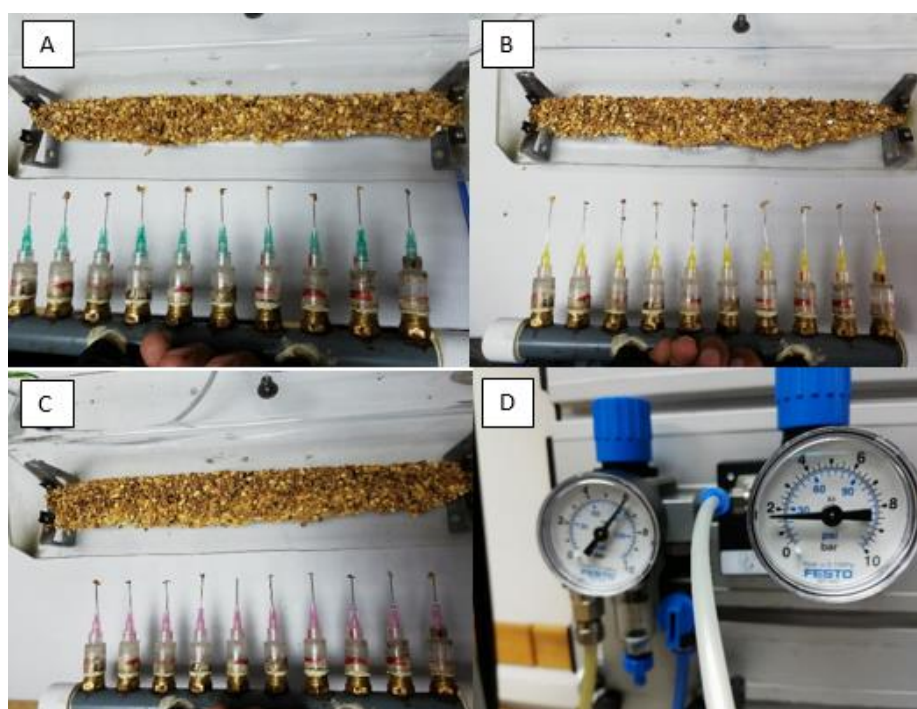
Figura 4.4. Representación de las posibilidades de sujeción del *manifold*



Ejemplo de sujeción del manifold, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

En la Figura 4.5 (a) se puede observar una de las pruebas realizadas con las agujas de calibre 20G (color verde), con la válvula de vacío expuesta a una presión de 200 KPa.

Figura 4.5. Pruebas de *manifold* con agujas



Pruebas del manifold a) Aguja calibre 21G b) Aguja calibre 20 G c) Aguja calibre 18G d) Manómetro de presión de aire comprimido, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Para determinar la presión de trabajo ideal se tomará en cuenta la mayor cantidad de resultados B, y la menor cantidad de resultados M y E debido a que, esto simbolizaría la mejor posibilidad de sujeciones y la menor posibilidad de recolección con excesos.

Tabla 4.1. Resultados *manifold* con agujas calibre 21G

Muestra	150KPa			175KPa			200KPa			250KPa			300KPa		
	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E
1	9	1	0	7	3	0	9	1	3	9	1	4	9	1	4
2	8	2	2	5	5	0	9	1	4	9	1	4	10	0	4
3	8	2	0	8	2	0	8	2	4	8	2	5	9	0	4
4	6	4	0	9	1	0	9	1	3	9	1	5	9	0	5
5	7	3	0	10	0	0	8	2	3	9	1	5	9	0	5
6	9	1	0	6	4	0	9	1	4	10	0	4	9	1	2
7	6	4	0	8	2	0	8	2	4	9	1	4	8	0	6
8	8	2	0	8	2	0	9	1	4	9	1	5	10	0	5
9	7	3	0	9	1	0	9	1	3	10	0	4	9	0	6
10	9	1	0	8	2	0	9	1	3	8	2	4	9	1	6
Sumatoria	77	23	2	78	22	0	87	13	35	90	10	44	91	3	47

Resumen del comportamiento de manifold con agujas calibre 21G a distintos niveles de presión,

Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

En la Tabla 4.1 se pueden observar los resultados obtenidos con las agujas de calibre 21 G sometidas a distintos niveles de presión. En las sumatorias se aprecia que los mejores números se consiguen a 200KPa de presión donde se obtienen 87 B, 13 M y 35 E y por tanto esta es la presión óptima para trabajar con agujas 21G.

Tabla 4.2. Resultados *manifold* con agujas calibre 20G

Muestra	150KPa			175KPa			200KPa			250KPa		
	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E
1	7	3	0	8	2	2	9	1	4	9	0	8
2	5	5	0	10	0	2	9	1	5	10	0	7
3	8	2	0	8	1	1	9	1	5	9	0	7
4	6	4	0	9	1	1	10	0	4	9	0	9
5	7	3	0	8	2	1	8	2	5	9	0	7
6	5	5	0	8	2	3	10	0	4	9	0	7
7	9	1	0	9	1	1	9	1	5	10	0	8
8	5	5	0	8	1	1	8	2	5	10	0	7
9	6	4	0	9	1	2	10	0	4	10	0	8
10	6	4	0	9	0	2	9	1	5	9	0	8
Sumatoria	64	36	0	92	8	16	91	9	46	94	0	76

Resumen del comportamiento de manifold con agujas calibre 20G a distintos niveles de presión,

Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

En la Figura 4.5 (b), se puede observar una de las pruebas realizadas con la aguja de calibre 20G (color amarillo), con la válvula de vacío expuesta a una presión de 200 KPa.

En la Tabla 4.2 se pueden observar los resultados obtenidos con las agujas de calibre 20G sometidas a distintos niveles de presión. En las sumatorias se aprecia que los mejores números se consiguen a 175KPa de presión donde se obtienen 89 B, 11 M y 16 E y por tanto esta es la presión óptima para trabajar con agujas 20G.

En la Figura 4.5 (c), se puede observar una de las pruebas realizadas con las agujas de calibre 18G (color rosa), con la válvula de vacío expuesta a una presión de 200 KPa.

En la Tabla 4.3 se pueden observar los resultados obtenidos con las agujas de calibre 18G sometidas a distintos niveles de presión. En las sumatorias se aprecia que los mejores números se consiguen a 150KPa de presión donde se obtienen 88 B, 12 M y 39 E y por tanto esta es la presión óptima para trabajar con agujas 18G.

Tabla 4.3. Resultados manifold con agujas calibre 18G

Muestra	125KPa			150KPa			175KPa			200KPa		
	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E
1	9	1	2	9	1	4	9	1	6	8	2	4
2	8	2	3	9	1	4	10	0	5	9	1	5
3	8	2	3	8	2	5	9	1	5	10	0	7
4	8	2	2	9	1	5	8	2	7	8	2	6
5	9	1	3	9	1	4	9	1	6	9	1	5
6	8	2	2	9	1	4	9	1	7	9	1	5
7	9	1	3	8	2	2	9	1	6	10	0	6
8	8	2	4	8	2	4	10	0	7	9	1	7
9	8	2	2	9	1	3	9	1	6	9	1	6
10	9	1	3	10	0	4	8	2	7	10	0	5
Sumatoria	84	16	27	88	12	39	90	10	62	91	9	56

Resumen del comportamiento de manifold con agujas calibre 18G a distintos niveles de presión,

Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Finalmente, para determinar el mejor calibre para la sujeción de la semilla se realiza una comparativa entre los mejores números de cada aguja.

Como se puede observar en la Tabla 4.4 los mejores resultados se obtuvieron con el calibre 20G a una presión de 175KPa. Esto debido a que en 92 oportunidades el *manifold* sujetó al menos una semilla y que en 16 ocasiones lo hizo con exceso.

Tabla 4.4. Comparativa de calibres

Calibre/Presión	B	M	E
18G/150KPa	88	12	39
20 G/175KPa	92	8	16
21G/200KPa	87	13	35

Comparativa de los mejores resultados de cada calibre, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

4.3 Pruebas de sembrado

Para realizar una comparativa del proceso de sembrado se tomó el tiempo de siembra de 10 bandejas de manera manual.

Tabla 4.5. Tiempos de siembra manual

Muestra	Punzado	Colocación de semilla	Recubrimiento	Total[<i>min</i>]
	Tiempo [<i>min</i>]	Tiempo [<i>min</i>]	Tiempo [<i>min</i>]	
1	1,560	5,940	1,534	9,034
2	1,634	7,003	1,306	9,943
3	1,676	7,397	1,859	10,932
4	1,613	7,667	1,263	10,542
5	1,699	7,237	1,543	10,479
6	1,743	7,453	1,48	10,676
7	1,610	6,610	1,538	9,758
8	1,661	8,770	1,789	12,220
9	1,590	7,370	1,787	10,747
10	1,608	7,053	1,782	10,443
Promedio	1,639	7,250	1,588	10,477

Tiempos de ejecución de siembra manual en bandejas, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez

Como se observa en la Tabla 4.5 el tiempo de siembra manual promedio es de 10.477 minutos que en base de tiempo es 10 minutos con 28 segundos, en este tiempo un

trabajador realiza los procesos de punzado, colocación de la semilla y recubrimiento cada uno de manera independiente.

También se tomó el tiempo de siembra de 10 bandejas de forma automatizada en la máquina.

Tabla 4.6. Tiempos de siembra Automatizada

Muestra	Tiempo [min]
1	1,765
2	1,744
3	1,756
4	1,764
5	1,760
6	1,764
7	1,765
8	1,763
9	1,764
10	1,765
Promedio	1,761

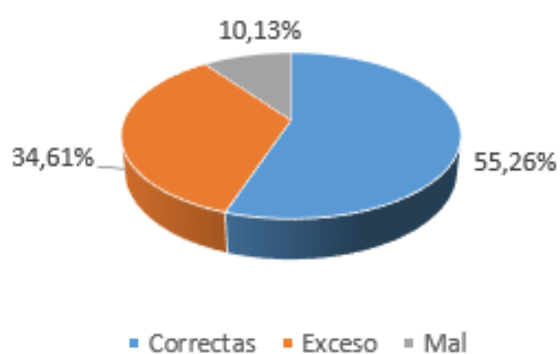
Tiempos de siembra automatizada utilizando la máquina sembradora, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

En la Tabla 4.6 se ve resumido los tiempos de siembra de la máquina teniendo como promedio 1.764 minutos que en base de tiempo es 1 minuto con 45 segundos.

Para este punto no se puede contrastar la siembra manual con la automatizada en cada etapa debido a que a diferencia del método artesanal la máquina puede realizar dos y hasta 3 etapas del proceso de sembrado a la vez, siendo este uno de los puntos fuertes de la operación de la máquina.

En la siembra manual de 200 cavidades analizadas se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 4.6

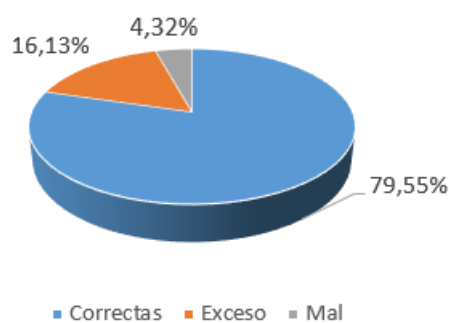
Figura 4.6. Resumen de porcentajes de siembra en manual



Eficiencia del sembrado manual, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

En la Figura 4.7 se puede observar los valores obtenidos con la máquina sembradora.

Figura 4.7. Resumen de porcentajes de siembra en máquina sembradora



Eficiencia de la máquina sembradora, pruebas realizadas a 175KPa, Autores: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Por tanto, en una bandeja de 200 alveolos al ser sembrada con la máquina se tendrá 159 cavidades con solo una semilla, 9 cavidades sin semilla y 32 cavidades con exceso.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló una máquina lineal automatizada para la siembra de tomate *cherry* en bandejas de germinación que permitió punzar, colocar la semilla y recubrir de sustrato, un semillero de 200 alveolos obteniendo un 79.55% de efectividad en la colocación de la semilla, un 16.13% de exceso y un 4.32 % de cavidades sin semilla.
- Se analizó el proceso de siembra llevado a cabo en la Fundación CAMBUGÁN el mismo que sirvió para determinar los parámetros bajo los cuales se realizó el diseño de la máquina, por tanto, se implementó una máquina de accionamiento sencillo que permite sembrar un semillero de 200 cavidades en 1.45 segundos aproximados debido a que realiza distintas fases del proceso de manera simultánea.
- Se implementó un sistema lineal de siembra de almácigos provisto de un mecanismo de transporte, un módulo de punzado, uno de colocación de la semilla y una etapa de recubrimiento, los mismos que al trabajar en conjunto pueden llevar a cabo la labor de siembra sin la intervención de un operador, esto se comprobó con las pruebas de funcionamiento del sistema.
- Se analizó los resultados obtenidos del funcionamiento de la máquina de los cuales se determina que el calibre ideal para la sujeción de la semilla es el 20G con la válvula de vacío expuesta a una presión de 175KPa, esto para que la cantidad de semillas colocadas sea la mayor y así mismo el exceso se reduzca al mínimo.
- Se logró reducir el tiempo de siembra del almácigo, ahorrando de esta manera 8 minutos con 43 segundos, así como también incrementado la cantidad de bandejas que se pueden producir de 6 a 30 por hora aproximadamente.
- Con el desarrollo de esta máquina se aporta al crecimiento del sector agrícola porque se logró mecanizar, tecnificar y automatizar un proceso que satisface las necesidades de la agroindustria ecuatoriana que es uno de los pilares fundamentales dentro de la matriz productiva.

RECOMENDACIONES

- Se debe verificar que la máquina cuente con al menos 100 gramos de semilla en el depósito para así reducir las posibilidades de que el *manifold* no coloque una semilla, debido a que existe una separación entre las agujas y el depósito.
- Es importante que la tolva tenga como mínimo 1 kilogramo de sustrato seco antes de cada operación esto con el afán de que la máquina este bien abastecida para cubrir el semillero antes de terminar el proceso,
- Establecer la presión de la máquina en un rango entre 175 a 200 KPa para tener el aire comprimido suficiente para llevar a cabo la siembra en cada sesión de trabajo.
- Mantener la máquina en un ambiente cerrado ya que no está hecha para trabajar en exteriores.
- De preferencia llenar el semillero con 1.79 kilogramos de sustrato húmedo sin exceso y al colocar la tierra no compactarla demasiado. Esto puede provocar fallos y dificultades en el módulo de punzado.
- Una vez al mes lubricar los rodamientos de la máquina tanto las guías lineales como las chumaceras para que el proceso de siembra no se vea afectado por esfuerzos excesivos de los actuadores.

LISTA DE REFERENCIAS

- Andrade García, D. (2015). *Diseño y construcción de un puente grúa automatizado de precisión*. Catalunya.
- ARDUINO. (2018). *Arduino Store*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D., Cornwell, P., & Self, B. (2013). *Vector Mechanics For Engineers*. New York: McGraw-Hill.
- Cozen. (2019). *Cozen*. Obtenido de Cozen: <https://t.todayshipit.com/Transformadores-De-Iluminacion/225807-Hontiey-8a-Fuente-De-Alimentacion-De-96-W-Ac-110-V-220-V-Dc-12-V-Transformadores-De-Iluminacion-Led-Tira-Controlador-De-Enchufe-Ee-Uu-Reino-Unido-Ue-Au.htm>
- EcoAgricultor. (22 de Diciembre de 2011). *Tipos de sustrato para huertos en maceta*. Obtenido de <https://www.ecoagricultor.com/tipos-de-sustrato-para-huertos-en-maceta/>
- ESPEL, I. M. (06 de Junio de 2015). *Innovate 2015*. Obtenido de <http://mecatronica-el.espe.edu.ec/innovate-2015/>
- GERONETO. (2019). *GERONETO Productos y Servicios*. Obtenido de <http://www.geroneto.com/productos-categoria.php?ica=3&nc=Barras%20en%20Acero%20Inox.%20y%20Ejes>
- Hernández, F. (01 de abril de 2015). *Asistencia Técnica Agrícola*. Obtenido de http://www.agro-tecnologia-tropical.com/semillero_paso_a_paso.html
- Hogarmania. (28 de Febrero de 2013). *Hogarmania.com*. Obtenido de <https://www.hogarmania.com/jardineria/mantenimiento/huerta/201302/cultivar-tomates-cherry-18885.html>
- Iberomed. (09 de Febrero de 2018). *Tipos de agujas hipodérmicas para enfermería*. Obtenido de <https://www.iberomed.es/blog/2018/02/09/tipos-de-agujas-hipodermicas-para-enfermeria/>
- Lozano Moge, J., & Soria Lopez, F. (2019). *Mecanismos*. Obtenido de http://mestreacasa.gva.es/web/guest/186?p_p_id=101_INSTANCE_UPIH&p_p_action=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_101_INSTANCE_UPIH_struts_action=%2Ftagged_c

ontent%2Fview_content&_101_INSTANCE_UPIH_redirect=%2Fweb%2Fgues

PatagoniaTec. (2019). *PatagoniaTec Tienda*. Obtenido de PatagoniaTec Tienda:

<https://tienda.patagoniatec.com/es/sensores-para-arduino/distancia-y-nivel/sensor-proximidad-inductivo-npn-6-36v-lj12a3-4-z-bx/>

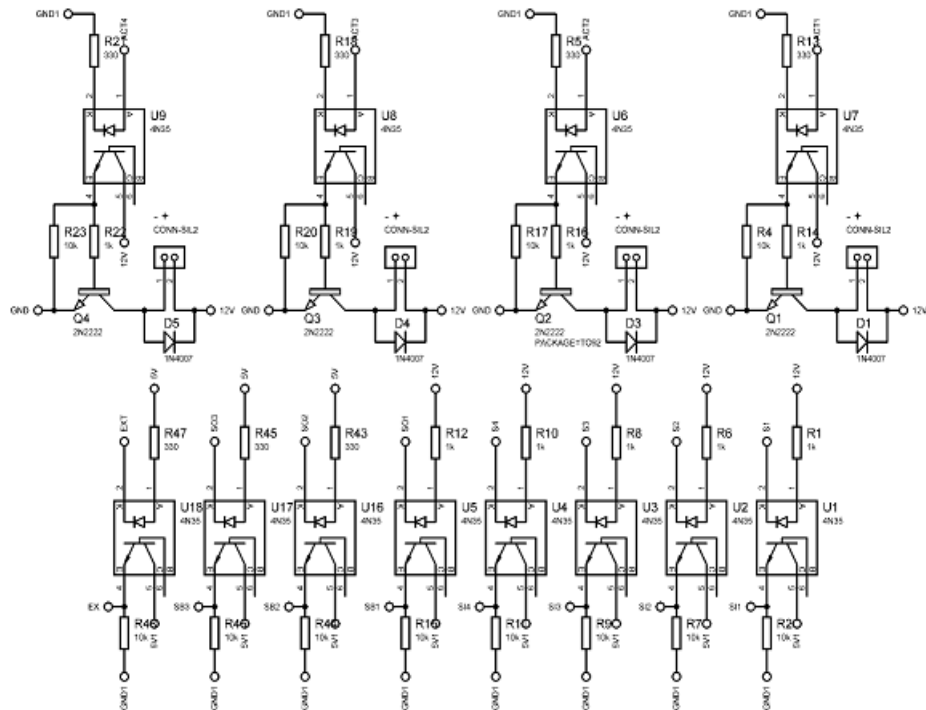
Ramoa, M. V. (2013). Producción de plantines. *Voces y Ecos*, 53-55.

SAHABAT, P. (2016). *PD SAHABAT industrial services with True solution*. Obtenido

de PD SAHABAT industrial services with True solution:
<http://online.pdsahabat.com/products/BY500-TDT>

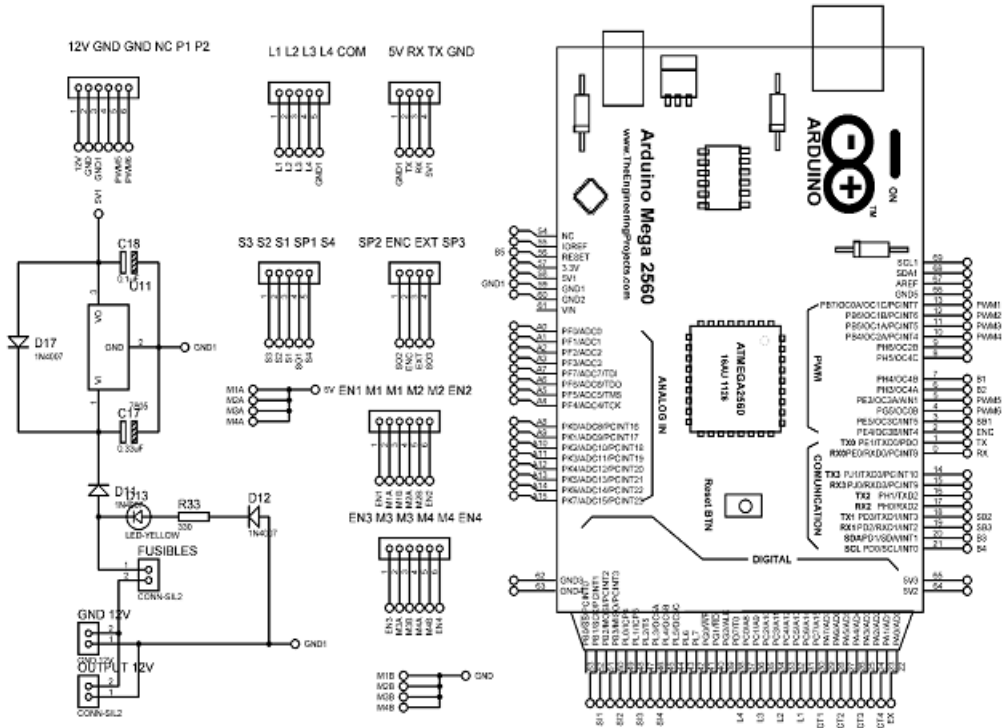
ANEXOS

Anexo 1. Diagrama del circuito implementado # 1



Elaborado por: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Anexo 2. Diagrama del circuito implementado # 2



Elaborado por: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Anexo 3. Programación en el IDE de Arduino

```
volatile int contador = 0; //ENCODER INCREMENTAL
volatile int punzador = 0; //CONTADOR DE PUNZADO
volatile int sembrador = 0; //CONTADOR DE SEMBRADO
int vaso = 0;
int tope = 0;
//ACTUADORES
int EBANDA = 4; //BANDA TRANSPORTADORA
int VIBRA = 13; //VIBRADOR SEMILLA
int VTOLVA1 = 23; //VIBRADOR TOLVA 1
int VTOLVA2 = 25; //VIBRADOR TOLVA 2
int M1 = 12; //MOTOR PUNZADOR
int M2 = 11; //MOTOR PUNZADOR

//SENSORES PRESENCIALES
int P1 = 3; //SENSOR MÓDULO 1 PUNZADO
int P2 = 18; //SENSOR MÓDULO 2 COLOCACIÓN DE LA SEMILLA
int S1 = 51; //SENSOR INDUCTIVO PUNZADOR ABAJO
int S2 = 49; //SENSOR INDUCTIVO PUNZADOR ARRIBA
int S3 = 47; //SENSOR INDUCTIVO AGUJAS ARRIBA
int S4 = 45; //SENSOR CAPACITIVO AGUJAS ABAJO

//VALVULAS
int BOMBA = 29; //BOMBA DE VACÍO
int EXPULSAR = 27; //EXPULSIÓN DE AIRE

//BOTONES
int BO1 = 20; //BOTON INICIO
int BO2 = 21; // BOTON CANCELAR

//INDICADORES
int VERDE = 35; //INDICADOR TRABAJO
int ROJO = 37; // INDICADOR FINALIZACIÓN
int AMARILLO = 33; //INDICADOR DE CANCELACIÓN
int AZUL = 31; //INDICADOR DE REESTABLECIMIENTO DE ACTUADORES

boolean F1 = HIGH;
boolean F2 = LOW;
boolean F3 = LOW;
boolean F4 = LOW;
boolean F5 = LOW;
boolean F6 = LOW;
boolean F7 = LOW;
boolean F8 = LOW;
boolean F9 = HIGH;
boolean F10 = LOW;
boolean F11 = LOW;
boolean F12 = LOW;
boolean F13 = LOW;

boolean Q1 = LOW;
boolean K1 = LOW;
boolean K2 = LOW;
boolean K3 = HIGH;
boolean K4 = LOW;

boolean CAN = LOW;

int SE1 = 0;
int SE2 = 0;
int SE3 = 0;
int SE4 = 0;
int BA = 0;
```

```

int EP1 = 0;
int EP2 = 0;

bool datoAnterior = LOW;
bool datoAnterior2 = LOW;
void setup() {
    Serial.begin(57600);
    attachInterrupt(0, interrupcion0, CHANGE); //ENCODER
    attachInterrupt(2, interrupcion2, LOW); //BOTON INICIO
    attachInterrupt(3, interrupcion3, LOW); // BOTON CANCELAR

//ESTABLECIMIENTO DE VARIABLES DE
SALIDA
    pinMode(VIBRA, OUTPUT);
    pinMode(EBANDA, OUTPUT);
    pinMode(M1, OUTPUT);
    pinMode(M2, OUTPUT);
    pinMode(BOMBA, OUTPUT);
    pinMode(EXPULSAR, OUTPUT);
    pinMode(VTOLVA1, OUTPUT);
    pinMode(VTOLVA2, OUTPUT);
    pinMode(VERDE, OUTPUT);
    pinMode(ROJO, OUTPUT);
    pinMode(AMARILLO, OUTPUT);
    pinMode(AZUL, OUTPUT);

    //ESTABLECIMIENTO DE VARIABKES DE
ENTRADA
    pinMode(B01, INPUT);
    pinMode(B02, INPUT);
    pinMode(P1, INPUT);
    pinMode(P2, INPUT);
    pinMode(S1, INPUT);
    pinMode(S2, INPUT);
    pinMode(S3, INPUT);
    pinMode(S4, INPUT);

    tope = 10;
}

void loop() {

    EP1 = digitalRead(P1);
    EP2 = digitalRead(P2);
    SE1 = digitalRead(S1);
    SE2 = digitalRead(S2);
    SE3 = digitalRead(S3);
    SE4 = digitalRead(S4);
    //ESTABLECIMIENTO DE ACTUADORES
    if (K3 == HIGH) {
        colocar();
    }
    //PARPADEO LED VERDE
    if (K2 == HIGH) {
        pverde();
    }

    //PARPADEO PROGRAMA PRINCIPAL
    if (K4 == HIGH) {
        digitalWrite(VERDE, HIGH);
        principal();
    }
}

}

void interrupcion0()
{
    if (CAN == HIGH and contador >=
500) {
        digitalWrite(EBANDA, LOW);
        CAN = LOW;
        Serial.print(contador);
    }

    contador++;
    if (contador >= 10000) {
        contador = 0;
    }
}

void interrupcion2() //EJECUCIÓN
DE ACCION CANCELAR
{
    contador = 0;
    CAN = HIGH;
    K1 = HIGH;
    digitalWrite(AMARILLO, HIGH);
    digitalWrite(VERDE, LOW);
    do {
        SE2 = digitalRead(S2);
        SE3 = digitalRead(S3);
        colocar();
        if (SE2 == HIGH and SE3 == HIGH)
        {
            digitalWrite(EBANDA, HIGH);
            K1 = LOW;
        }
    } while (K1 == HIGH);
}

//EJECUCIÓN DE ACCION RESTABLECER
ACTUADORES
void colocar() {
    if (SE2 == LOW) {
        digitalWrite(M1, HIGH);
        digitalWrite(AZUL, HIGH);
        digitalWrite(VERDE, LOW);
    }
    if (SE3 == LOW) {
        digitalWrite(M2, HIGH);
        digitalWrite(AZUL, HIGH);
        digitalWrite(VERDE, LOW);
    }
}

```

```

    if (SE2 == HIGH) {
        digitalWrite(M1, LOW);
    }
    if (SE3 == LOW) {
        digitalWrite(M2, LOW);
    }
    if (SE2 == HIGH and SE3 == HIGH)
    {
        K2 = HIGH;
        digitalWrite(AZUL, LOW);
    }
}

//EJECUCIÓN DE ACCION INICIO
void interrupcion3()
{
    K2 = LOW;
    K3 = LOW;
    K4 = HIGH;
    digitalWrite(VERDE, HIGH);
    digitalWrite(EBANDA, HIGH);
}

//PARPADEO LED VERDE
void pverde() {
    digitalWrite(VERDE, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(VERDE, LOW);
    delay(500);
}

//PORGRAMA PRINCIPAL DE
FUNCIONAMIENTO
void principal() {

    //ETAPA PUNZADO
    if (EP1 == HIGH && datoAnterior
== LOW and F1 == HIGH)
    {
        vaso++;
        Serial.print("Punzados: ");
        Serial.println(vaso);
        F2 = HIGH;
        contador = 0;
        F1 = LOW;
        digitalWrite(EBANDA, HIGH);
    }

    if (F2 == HIGH and contador >= 7)
    {
        digitalWrite(EBANDA, LOW);
        digitalWrite(M1, HIGH);
        F3 = HIGH;
        F5 = HIGH;
        F2 = LOW;
    }
    if (SE1 == HIGH and F3 == HIGH) {
        punzador++;

        F4 = HIGH;
        F3 = LOW;
    }
    if (F4 == HIGH and SE2 == HIGH) {
        digitalWrite(M1, LOW);
        contador = 0;

```

```

        if (punzador >= 0 and punzador
<= 9) {
            F1 = HIGH;
            digitalWrite(EBANDA, HIGH);
        }

        F4 = LOW;
    }
    datoAnterior = EP1;
    //ETAPA PUNZADO Y SEMBRADO
    if (punzador >= 10 and punzador
<= 19 and F5 == HIGH) {
        analogWrite(VIBRA, 180);
        digitalWrite(M2, HIGH);
        digitalWrite(BOMBA, HIGH);
        F6 = HIGH;
        F5 = LOW;
    }

    if (SE4 == HIGH and F6 == HIGH) {
        digitalWrite(M2, LOW);
        F7 = HIGH;
        F6 = LOW;
    }
    if (SE2 == HIGH and F7 == HIGH) {

        delay(100); //delay espera abajo
        semillas
        digitalWrite(M2, HIGH);
        F8 = HIGH;
        F7 = LOW;
    }

    if (F8 == HIGH and SE2 == HIGH and
SE3 == HIGH) {

        digitalWrite(M2, LOW);
        digitalWrite(BOMBA, LOW);
        delay(500);
        digitalWrite(EXPULSAR, HIGH);
        delay(500); //delay movimiento
        banda
        digitalWrite(EXPULSAR, LOW);
        sembrador++;
        Serial.print("Sembrador: ");
        Serial.println(sembrador);
        if (sembrador >= 0 and sembrador
<= 11)
        {
            F1 = HIGH;
            digitalWrite(EBANDA, HIGH);
        }
        F8 = LOW;
    }
    //ETAPA SEMBRADO Y RECUBRIMIENTO

    if (EP2 == HIGH && datoAnterior2
== LOW and F9 == HIGH and sembrador
>= 11)
    {
        vaso++;
        digitalWrite(BOMBA, HIGH);
        F10 = HIGH;
        contador = 0;
        F9 = LOW;
    }
    datoAnterior2 = EP2;

```

```

    if (F10 == HIGH and contador >=
2) {
    digitalWrite(EBANDA, LOW);
    digitalWrite(M2, HIGH);
    F11 = HIGH;
    F10 = LOW;
}

    if (F11 == HIGH and SE4 == HIGH)
{
    digitalWrite(M2, LOW);
    F12 = HIGH;
    F11 = LOW;
}
    if (F12 == HIGH) {
    delay(800); //delay agujas
    digitalWrite(M2, HIGH);
    F13 = HIGH;
    F12 = LOW;
}
    if (F13 == HIGH and SE3 == HIGH)
{
    digitalWrite(M2, LOW);
    digitalWrite(BOMBA, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(EXPULSAR, HIGH);
    delay(500); //delay movimiento
banda
    digitalWrite(EXPULSAR, LOW);
    sembrador++;
    Serial.print("Sembrador: ");
    Serial.println(sembrador);

    delay(500);
    if (sembrador >= 20) {
        contador = 0;
        Q1 = HIGH;
    }
    digitalWrite(EBANDA, HIGH);
    F9 = HIGH;
    F13 = LOW;
}

    if (sembrador == 10) {
        digitalWrite(VTOLVA2, HIGH);
    }
    if (sembrador >= 20) {
        digitalWrite(VIBRA, LOW);
    }
    //ETAPA RECUBRIMIENTO Y
FINALIZACION
    if (Q1 == HIGH and contador > 100)
{
        digitalWrite(VTOLVA2, LOW);
    }

    if (Q1 == HIGH and contador > 350)
{
        digitalWrite(VTOLVA2, LOW);
        digitalWrite(EBANDA, LOW);
        digitalWrite(ROJO, HIGH);
        digitalWrite(VERDE, LOW);
        K4 = LOW;
        Q1 = LOW;
    }
}

```

Elaborado por: Miguel Guallichico y David Rodríguez.

Anexo 4. Manual de usuario







Led azul

En caso de que se encienda el indicador de color azul, espere un momento a que todos los módulos regresen a su posición inicial y el indicador se apague.

Manual de Usuario

Proceso de Sembrador



Led verde

Si el indicador de color verde está parpadeando, indica que los módulos están en posición y la máquina está lista para sembrar, coloque la bandeja en su posición y presione el botón verde.

Manual de Usuario

Proceso de Sembrador



Led verde prendido

El indicador verde encendido de manera continua indica que el proceso de siembra se esta ejecutando.

Advertencia: Manténgase alejado de la maquina hasta que se encienda el indicador rojo.

Manual de Usuario

Proceso de Sembrador



Led rojo

Si el indicador rojo se enciende, el proceso de siembra concluyó, como siguiente paso retire la bandeja traslade a un lugar seguro.

Manual de Usuario

Proceso de Sembrador





Figura 1

En caso de que el proceso se este ejecutando y necesite sacar en cualquier momento la bandeja de germinación sin que se complete todo el proceso mantenga presionado el botón naranja para que la bandeja sea liberada.

Manual de Usuario

Proceso de Sembrador

Elaborado por: Miguel Guallichico y David Rodríguez.